# はじめに

本講座は，東大合格にむけて，実践的な解答力の強化を目指した講座です。

東大生物は大問３題から構成されていますが，一つの大問には複数の分野の内容が含まれ，実質的には大問数以上の広がりをもった，ボリュームのある総合問題となっています。リード文中では，受験生にとっては初見となる実験や資料が必ず提示され，図や表を含む実験結果を積極的に解釈させる考察問題が中心となります。それらを鑑みると，75 分という時間内で的確な解答を仕上げていくのは容易なことではありません。

合格のために必要なものは，未知のデータ・図表を読み込み，それを説明する整合性のとれたモデルを立て，その内容を的確に表現する能力です。“生物は暗記”と割り切った学習をしてきた受験生にとってはかなり難問に映りますが，日ごろから意識して考察論述を鍛錬してきた受験生にとっては安定した得点を期待できる科目とも言えるでしょう。

テキストの問題は，あらかじめ予習の段階で一通り解いておきましょう。問題にはすでに目を通してある前提で解説を進めていきますので，問題が解けなかったときこそ問題文をもう一度熟読した上で，講義に入るようにしてください。

今，これを読んでいる君たちのほとんどは受験生であると思います。その受験生としての日々を，長く孤独な戦いであると感じている人もいるでしょう。しかし，これほど純粋でフェアな競争もそうはありません。これまでのことは関係なく，君の素養と努力が直接問われています。そのチャレンジしている自分，成長していく自分にワクワクしてください。この過程で得た苦労も喜びも全て君のものです。

君のその努力は，君の合格する確率を確実に上げてくれます。どうぞ，安心して力いっぱい励んでください。

**牧島　央武**

# 目　次

第１講　細胞周期の調節 …… p.4

第２講　ゲノム刷り込み …… p.12

第３講　メダカの性決定 …… p.18

第４講　選択的スプライシング …… p.22

第５講　マラリア原虫の寄生 …… p.30

第６講　植物の環境応答 …… p.36

第７講　植物の光受容体 …… p.44

第８講　眼球運動の調節 …… p.50

第９講　気候変動による分布域の変化 …… p.56

第10講　頻度に依存した淘汰 …… p.62

※本テキストは，一部問題において東京大学の入試問題を改変して使用しております。
　詳細は，テキストをご確認ください。

# 第１講　細胞周期の調節

次の文１から文３を読み，ⅠからⅢの各問に答えよ。

〔文１〕

(ア)生物において，DNA の遺伝情報は RNA に転写され，さらにタンパク質に翻訳される。また，遺伝情報は細胞増殖に伴って母細胞から娘細胞に伝えられる。細胞が増殖する際に，分裂した細胞が再び分裂を起こすまでの過程を細胞周期という。(イ)細胞周期は，細胞分裂が進行する M 期とそれ以外の間期に大別され，間期はさらに G1 期，G2 期，および S 期に区分される。細胞周期の S 期において染色体 DNA は忠実に複製されて倍加する。

実験１　増殖中のヒト培養細胞の集団から，その一部を採取し，DNA と結合すると蛍光を発する色素を用いて染色した。この方法を用いると個々の細胞内の DNA 量を蛍光強度として検出することができる。その結果，**図１－１**に示すようなグラフが得られた。

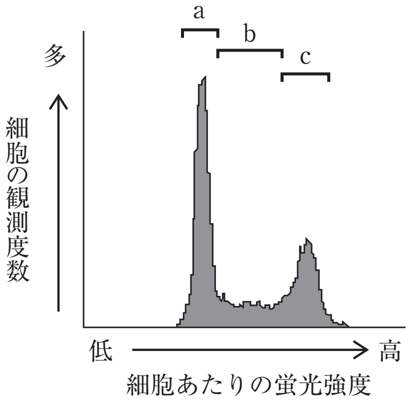



**図１－１**　細胞あたりの蛍光強度と細胞の観測度数の関係

〔文２〕

細胞周期が正しく進行するには，細胞周期の各段階がそれぞれ誤りなく完全に終了した後に，次の段階に移行する必要がある。たとえば，DNA 複製が完了する前に細胞分裂が始まると，生じる娘細胞は完全な染色体 DNA を引き継ぐことができず，結果として細胞増殖に重大な影響が出てしまう。このようなことが起こらないように，細胞は，細胞周期の各ステップが完全に終了したかどうか，異常が起きていないかどうかを確認する機構を有している。このような細胞周期監視機構の存在は，最も単純な真核生物の一種である出芽酵母（以後，酵母とよぶ）を用いた実験によって解明された。自然界で酵母は二倍体として存在するのみならず，染色体を一組のみもつ一倍体として生育することもできる。一倍体細胞では，各遺

伝子が細胞あたり一つずつ存在するため，遺伝子変異が起こると，その影響が直接，細胞の表現型として現れる。このような性質は，特定の機能をもつ遺伝子を同定するのに有用であることから，実験では主に一倍体の酵母が用いられている。

正常な酵母は，X 線照射によって染色体の 2 本鎖 DNA が切断されると，損傷部位と同じ配列をもつ DNA を利用して修復する。このような修復は，主に細胞周期の G2 期で起こることが知られているが，これは染色体の損傷を修復する際に DNA 複製によって生じたもう一組の染色体を利用するからである。一方，G1 期や M 期の酵母細胞は，X 線による DNA 損傷を修復することができず，そのほとんどが死滅してしまう。DNA 損傷に対する細胞応答の制御には，さまざまな遺伝子が関与することが知られているが，その多くが一倍体酵母細胞を用いた解析によって同定された。

実験２　盛んに増殖している酵母を寒天培地上に散布して X 線を照射し，その 10 時間後に，G2 期にある細胞の割合を定量的に計測した。また，X 線を照射してから 3 日後に，形成されたコロニー（生存した細胞が増殖してできた塊）数をカウントし，細胞の生存率を計測した。その結果，**表１－１**（上段）に示すように，正常な酵母細胞では，少量の X 線照射によって，G2 期にある細胞の割合が著しく増加し，最終的に 50％の細胞が生き残ることがわかった。また，多量の X 線を照射すると，G2 期にある細胞の割合がさらに増加した。一方，DNA 損傷を修復する酵素が完全に機能を失っている変異細胞 **A** や，未知の遺伝子に欠失がある変異細胞 **B** では，**表１－１**（中段，下段）に示す結果となった。

**表１－１**　X 線照射後の細胞周期分布および細胞生存率の変化

| 細胞 | X 線照射量 | X 線照射 10 時間後に G2 期にある細胞の割合（％） | X 線照射 3 日後に生存している細胞の割合（％） |
|---|---|---|---|
| 正常細胞 | なし | 5 | 100 |
| | 少量 | 50 | 50 |
| | 多量 | 70 | 30 |
| 変異細胞 **A** | なし | 10 | 100 |
| | 少量 | **1** | **2** |
| 変異細胞 **B** | なし | 5 | 100 |
| | 少量 | 20 | 30 |
| | 多量 | 45 | 1 |

実験３　次に，紡錘体形成を阻害する特殊な薬剤で処理することによって細胞周期を人工的にG2期で停止させた酵母細胞（正常細胞および変異細胞**B**）にX線を照射し，その後直ちに薬剤を除去して培養を続けた。1～2時間おきに細胞を観察して，細胞周期が再び回り始めG2期から次の段階へ進んだ細胞の割合を調べたところ，**図１－２**のような結果が得られた。なお，酵母の細胞周期は1周期が約2時間である。

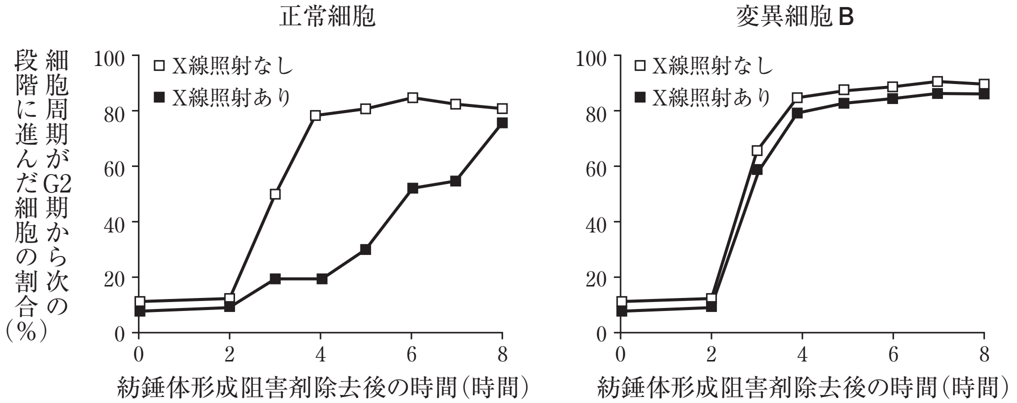



**図１－２**　紡錘体形成阻害剤除去後に細胞周期が進行した細胞の割合

X線を照射した細胞および未照射の細胞から得られたデータをそれぞれ■と□で示す。

〔文３〕

細胞内で，遺伝情報にもとづいて合成されるタンパク質の一部は酵素であり，増殖や分化，代謝など，多彩な細胞機能の調節に重要な役割を果たしている。酵素活性をもつタンパク質は，酵素として働く領域や，その活性を制御する領域など，異なる機能をもつ複数の領域から構成されているものが多い。人工的に遺伝子変異を導入して，タンパク質の特定の領域のみを欠失させることで，酵素タンパク質分子内の各領域が，どのような機能を有しているかを詳細に解析できる。

実験４　マウスの細胞内に存在するタンパク質Xは，5つの領域（a～e）から構成されるタンパク質分子であり（**図１－３**左上），分子内のどこかに酵素として働く領域をもっている。このタンパク質Xの酵素活性を調節するメカニズムを明らかにするため，細胞内でタンパク質Xと特異的に結合する分子を探索したところ，新たなタンパク質Yが得られた。タンパク質Yは，ふだんは細胞内にほとんど発現していないが，ホルモンZで細胞を刺激すると，その発現量が著しく増加することがわかっている。そこで，タンパク質Yがタンパク質Xの酵素活性にどのような影響を与えるかを調べるため，以下の実験を行った。

まず，タンパク質Xおよびタンパク質Yを，バイオテクノロジーの手法を用いて大腸菌内で大量合成し，別々に精製した。得られた各タンパク質を試験管内に少量ずつ取り分

け，タンパク質Ｘのみが存在する状態，およびタンパク質Ｘとタンパク質Ｙの両方が存在する状態で，タンパク質Ｘの酵素活性を測定した。また同時に，タンパク質Ｘ分子内の５つの領域（a～e）をさまざまに欠失させた７種類のタンパク質（欠失型タンパク質Ⅰ～Ⅶ）を作製して，同様の実験を行ったところ，**図１－３**の棒グラフのような結果となった。ただし，反応に用いた各タンパク質の量や酵素活性の測定条件は同一である。また，タンパク質Ｘのａ～ｅ領域以外の部分に特別な機能はなく，タンパク質Ｙはタンパク質Ｘの酵素領域とは直接結合しないことがわかっている。

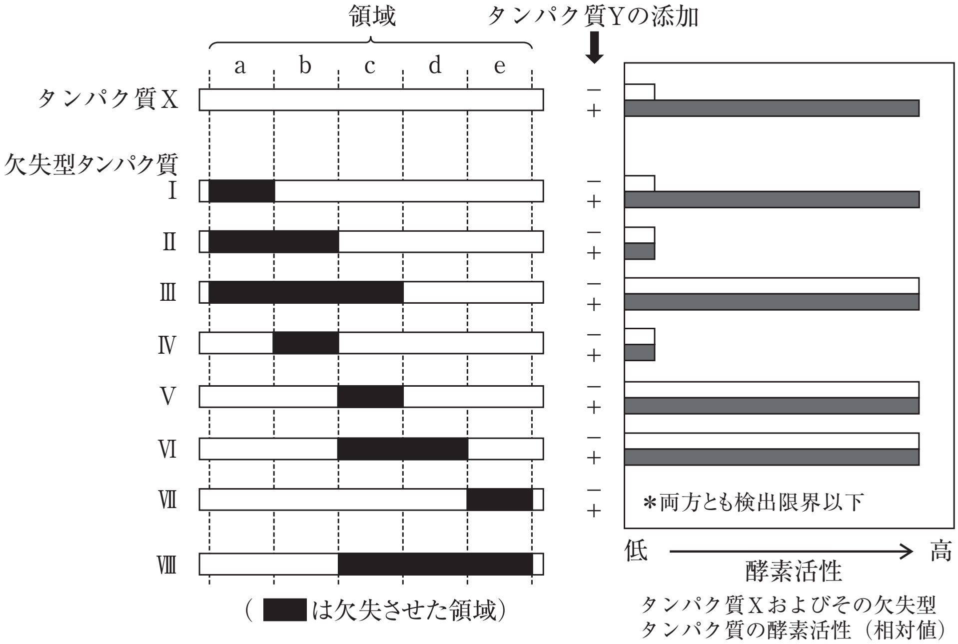



**図１－３**　タンパク質Xと各欠失型タンパク質の構造(左)およびタンパク質Y添加による酵素活性の変化(右)(「+」および「－」は,タンパク質Yの有無を示す)

〔問〕

Ⅰ　文１について，以下の小問に答えよ。

A　下線部(ア)について。以下の(1)～(4)の文章のうち，間違っているものをすべて選んで，その番号を記し，それぞれについて，どこが間違っているかを簡潔に説明せよ。

(1)　真核生物の核 DNA は，ヒストンとよばれるタンパク質に巻きついた状態で存在している。

(2)　原核生物の RNA ポリメラーゼはプロモーターに直接結合するが，真核生物の RNA ポリメラーゼは，プロモーター領域に結合し，転写する際に，基本転写因子を必要とする。

(3)　免疫グロブリンの多様性は，主として，免疫グロブリン遺伝子から転写される RNA が選択的スプライシングを受けることで生み出されている。

(4)　6 塩基対の配列を認識する制限酵素を用いて染色体 DNA を処理した場合，切断される塩基配列の出現頻度は，計算上，4096 塩基対に 1 回である。

B　下線部(イ)について。細胞周期の各期（G1，G2，S，M）の細胞は，**図１－１**に示す領域ａ～ｃのうち，どの領域に含まれるか。G1－○領域，G2－□領域，のように答えよ。

Ⅱ　文２について，以下の小問に答えよ。

C　**表１－１**の空欄１および空欄２に入る数字の組合せとして最も適切なものを以下の(1)〜(8)から１つ選べ。

| | 1 | 2 |
|---|---|---|
| (1) | 5 | 5 |
| (2) | 5 | 20 |
| (3) | 20 | 20 |
| (4) | 20 | 80 |
| (5) | 50 | 50 |
| (6) | 50 | 80 |
| (7) | 80 | 5 |
| (8) | 80 | 50 |

D　X線照射後の細胞の生存率が，正常細胞と比較して変異細胞Bで低下しているのはなぜか。**表１－１**および**図１－２**で示した実験結果をもとに考察し，3行（105字）程度で説明せよ。

E　変異細胞Bで欠失している遺伝子が，DNA損傷修復酵素をコードする遺伝子ではないことを確認するために，どのような実験を行ったらよいか。紡錘体形成阻害剤を利用した実験を考案し，予測される結果とともに3行（105字）程度で説明せよ。

Ⅲ　文３について，以下の小問に答えよ。

F　タンパク質Ｘ分子内で酵素としての活性をもつのは，a～e のうち，どの領域であると考えられるか，記号で答えよ。

G　タンパク質Ｙは,タンパク質Ｘのどの領域に結合すると予想されるか,記号で答えよ。

H　タンパク質Ｘ分子内の c 領域は，酵素活性の調節において，どのような役割を果たしていると推測されるか。最も適切なものを以下の⑴～⑹から１つ選べ。

⑴　タンパク質Ｘとタンパク質Ｙの結合を促進する。
⑵　タンパク質Ｘとタンパク質Ｙの結合を抑制する。
⑶　タンパク質Ｘの酵素活性を増強する。
⑷　タンパク質Ｘの酵素活性を抑制する。
⑸　タンパク質Ｘの立体構造を安定化する。
⑹　タンパク質Ｘの立体構造を不安定化する。

I　細胞をホルモンＺで刺激するとタンパク質Ｘの酵素活性は，どのように変化すると考えられるか。タンパク質Ｘ分子内の各領域による酵素活性の制御メカニズムを含めて，３行（105字）程度で説明せよ。

J　タンパク質Ｘと新たに作製した欠失型タンパク質Ⅷ（**図１－３**；c／d／e 領域を欠失しており，a／b 領域のみからなる）を試験管内で混合した後，タンパク質Ｙを加えて反応させた。このとき，欠失型タンパク質Ⅷを加えることによって，タンパク質Ｘの酵素活性にどのような影響が認められるか。次の考察の空欄**３**と空欄**４**に入る最も適切な語句を，以下の選択肢(1)～(5)からそれぞれ１つ選んで番号で答えよ。ただし，同じ語句を２度用いてもよい。

考察：加えた欠失型タンパク質Ⅷの量が，タンパク質Ｘおよびタンパク質Ｙの量より十分に多いとき，反応液中のタンパク質Ｘの酵素活性は，欠失型タンパク質Ⅷが存在しない場合と比較して［　３　］。一方，タンパク質Ｙの量が，欠失型タンパク質Ⅷおよびタンパク質Ｘの量よりも十分に多いとき，反応液中のタンパク質Ｘの酵素活性は，欠失型タンパク質Ⅷが存在しない場合と比較して［　４　］。

選択肢：

(1)　高くなる　　(2)　高くなった後，低くなる

(3)　低くなる　　(4)　低くなった後，高くなる

(5)　同等である

# 第２講　ゲノム刷り込み

次の文１から文３を読み，ⅠとⅡの各問に答えよ。

〔文１〕

カモノハシなどの[ 1 ]類やコアラなどの[ 2 ]類を除く大部分のほ乳類では，胎仔(じ)は胎盤を介して母体から供給される栄養分と酸素に依存して発育する。そのため，胎盤に深刻な異常が生じると，胎仔の発育は停止し死に至る。胎盤で母体の血液が胎仔血管に流れ込むことはなく，赤血球が母体の肺から胎仔の末梢(しょう)組織へ酸素を直接届けることはできない。胎盤で胎仔が酸素を受け取ることができるのは，(ア)母体のもつ成体型ヘモグロビンと胎仔赤血球に含まれる胎仔型ヘモグロビンの酸素結合能が異なるおかげである。

〔文２〕

マウスの初期胚発生では，胚盤胞期に胞胚腔が形成され，それを囲む栄養外胚葉と，内側に存在する内部細胞塊の，２つの細胞集団が現れる（**図１－１**）。成熟した胚盤胞が子宮の内壁に着床すると，栄養外胚葉の細胞は胎盤や胎膜を形成するが，胎仔の体細胞や生殖細胞には分化しない。一方，内部細胞塊からは胎盤細胞への分化は起こらず，胎仔の体をつくる三胚葉が派生する。さらに，中胚葉の一部の細胞が生殖細胞へと分化する。胚性幹細胞（ES 細胞）は内部細胞塊から樹立され，その分化能をよく保持している。

また，マウスでは，２つの８細胞期胚を合わせて１つの胚にしたり，８細胞期胚と ES 細胞を合わせて胚に ES 細胞を取り込ませたりすることによって，遺伝的に異なる細胞が混在する個体（キメラとよばれる）をつくることができる。キメラにおける細胞の分布様式は，**表１－１**に示すように，用いる細胞の組合せによって異なる。

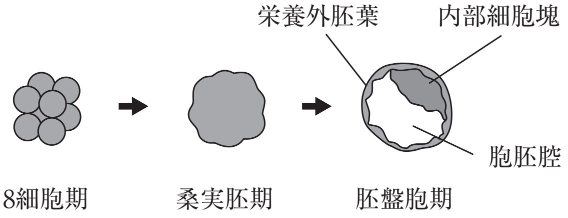
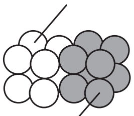
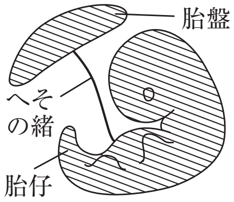
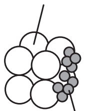
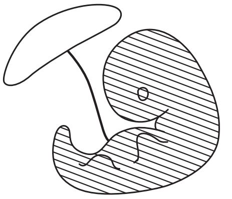
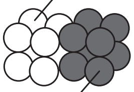
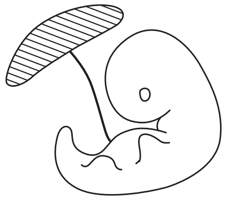



**図１－１**　マウスの8細胞期から胚盤胞期までの発生を示した模式図
桑実胚期には割球の境界が不明瞭になる。胚盤胞は内部構造を表すために，その断面図を示した。

**表１－１**　異なる細胞の組合せで作製されるキメラ

| 組合せ | 細胞の分布 (注1) | 説明 |
|---|---|---|
| ８細胞期胚  ８細胞期胚 |  | ２つの８細胞期胚を１つに合わせて作製するキメラ。胎盤と胎仔の両方で遺伝的に異なる細胞が混在する。 |
| ８細胞期胚  ES細胞 |  | ８細胞期胚とES 細胞を合わせて作製するキメラ。内部細胞塊に由来するES 細胞は胎盤の細胞に分化しないため，胎仔のみで細胞が混在する。 |
| ８細胞期胚  ８細胞期胚（四倍体） |  | ２つの８細胞期胚の一方に四倍体胚 (注2) を用いて作製するキメラ。四倍体細胞は胎盤に分布して正常に機能するが，胎仔には分布しない。 |

（注1）斜線部分が遺伝的に異なる2種類の細胞からなる。
（注2）２細胞期胚の割球を人工的に融合して四倍体化した胚を発生させたもの。

〔文３〕

ほとんどの動物は，精子に由来する父由来染色体と卵に由来する母由来染色体をもつ二倍体であり，多くの場合，どちらの染色体上の対立遺伝子もともに発現し得る。しかし，ほ乳類では，父由来染色体と母由来染色体は機能的に等価ではないことが知られている。たとえばある遺伝子座では，常に父由来染色体上の対立遺伝子のみが発現し，母由来の相同染色体上の対立遺伝子は不活性化されて発現しない（この逆のケースもある）。この現象は，親の始原生殖細胞において，その性に応じてオス型あるいはメス型の印が染色体上につけられるために起こるもので，「ゲノム刷り込み」とよばれている。(イ)ゲノム刷り込みのため，ほ乳類の正常な個体発生には，父由来と母由来双方の染色体が必要となる。

ここで，胎盤と胎仔の両方で発現する遺伝子 $A$ に注目し，その個体発生における機能を知るためにキメラ作製を含む以下の実験を行った。なお，遺伝子機能の欠損によってある種類の細胞が正常につくられず組織の形成と機能に異常が生じる場合，正常細胞が混在したキメラを作製すると，失われるはずの細胞種を正常細胞が補い，組織は正常に形成されその機能も回復する。

実験１　まず，バイオテクノロジーの手法を用いて遺伝子型 $Aa$ の ES 細胞を作製し（$A$ は野生型，$a$ は機能を完全に欠失させた対立遺伝子とする），この ES 細胞と野生型８細胞期胚を用いてキメラ個体を作製した。そのうちの１匹のオスと野生型メスマウスをかけあわせたところ，得られた(ウ)第１世代（F1）マウスの 10％が遺伝子型 $Aa$ の個体であった。さらに，$Aa$ 個体（F1）と野生型個体のかけあわせから，**表１－２**の結果が得られた。

**表１－２**　$Aa$ 個体（F1）と野生型個体のかけあわせで得られた F2 胎仔の表現型

| かけあわせ | F2 胎仔の遺伝子型 $AA$ | F2 胎仔の遺伝子型 $Aa$ |
|---|---|---|
| ♀ $AA$ ×♂ $Aa$ | 正常 | 正常 |
| ♀ $Aa$ ×♂ $AA$ | 正常 | 妊娠中期に発生が停止 |

実験２　実験１の結果を受け，受精卵の移植実験を行った。F1 個体のかけあわせで得られる受精卵を体外に取り出し，異なる遺伝子型のメスマウス（レシピエントとよぶ）に移植して胎仔を発生させたところ，**表１－３**の結果が得られた。なお，レシピエント自身の卵は受精しないため，それに由来する胎仔は存在しない。また，胚操作によるダメージの影響はないものとする。

**表１－３**　胚移植実験で得られた F2 胎仔の表現型

| 受精卵を得たかけあわせ | レシピエントの遺伝子型 | F2 胎仔の遺伝子型 | |
|---|---|---|---|
| | | *AA* | *Aa* |
| ♀ *AA* ×♂ *Aa* | *AA* | 正常 | 正常 |
| ♀ *AA* ×♂ *Aa* | *Aa* | 正常 | 正常 |
| ♀ *Aa* ×♂ *AA* | *AA* | 正常 | 妊娠中期に<br>発生が停止 |
| ♀ *Aa* ×♂ *AA* | *Aa* | 正常 | 妊娠中期に<br>発生が停止 |

実験３　実験１，２において発生が停止したF2個体を精査したところ，そのすべてにおいて，胎盤の形態に顕著な異常が見られた。一方，発生が停止する直前の時期の胎仔には形態的な異常が認められなかった。このことから，「発生停止は胎盤の機能が不十分なために起こる二次的な表現型である」との仮説を立て，その検証のためのキメラ作製実験を計画した。キメラ作製実験でこの仮説を検証するには，(エ)発生が停止するはずの遺伝子型の個体において，胎盤のみに正常に機能する細胞を分布させて胎盤の機能を補完した場合の胎仔の表現型を見ればよい。

〔問〕

Ⅰ　文１について，以下の小問に答えよ。

A　空欄**１**，**２**にそれぞれ適切な漢字二文字を入れよ。

B　下線部(ア)について。**図１－２**は，胎盤における二酸化炭素分圧のときの，成体型ヘモグロビンと胎仔型ヘモグロビンの酸素解離曲線である。胎盤では成体型ヘモグロビンの40％が酸素結合型（酸素ヘモグロビン）であり，胎仔末梢組織における酸素分圧が10mmHgであるとすると，胎仔末梢組織では血液100mLあたり何mLの酸素が放出されるか答えよ。ただし，酸素ヘモグロビン100％の状態の血液がすべての酸素を放出した場合，血液100mLから20mLの酸素が放出されるものとする。また，胎盤と胎仔末梢組織における二酸化炭素分圧の差，胎盤から胎仔末梢組織に達するまでの酸素の放出，および血漿（しょう）に溶解している酸素は無視できるものとする。

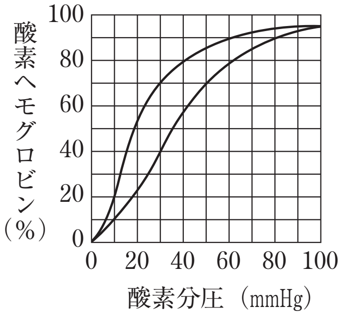



**図１－２**　ヘモグロビンの酸素解離曲線
２本の曲線のいずれか一方が成体型ヘモグロビンの，他方が胎仔型ヘモグロビンの酸素解離曲線を表す。

Ⅱ　文２および文３について，以下の小問に答えよ。

C　ES細胞と四倍体８細胞期胚を合わせてキメラを作製した場合，どのような細胞の分布が期待されるか。**表１－１**を参考に，１行（35字）程度で答えよ。

D　下線部(イ)について。マウスでは，二倍体である体細胞の核をもちいた核移植により，正常なクローン個体を得ることができる。しかし，精原細胞の核を移植してクローン胚を作製した場合には，精原細胞も二倍体であるにもかかわらず正常な個体まで発生するものはまったく得られない。その理由を３行（105字）程度で答えよ。

E　下線部(ウ)について。以下は，*Aa* 個体が F1 世代の 10％であったことの理由に関する考察である。空欄３，４に適切な語を入れよ。なお，遺伝子 *A* の機能は生殖細胞の分化や機能に必要ではないものとする。

考察：かけあわせに用いたオスキメラ個体において，［　3　］の［　4　］％は野生型８細胞期胚に由来する細胞であった。

F　実験２により，*Aa* の表現型を決定する条件について，何が否定されたか。１行（35 字）程度で答えよ。

G　どちらも遺伝子型が *Aa* のメス個体とオス個体をかけあわせて得られた遺伝子型 *aa* の個体は，すべてが妊娠中期に発生を停止し胎生致死の表現型を示した。このかけあわせで得られる遺伝子型 *Aa* の個体に予想される表現型と，その理由を，それぞれ１行（35字）程度で答えよ。

H　下線部(エ)について。**表１－１**を参考に，このキメラ作製実験に関する次の考察の空欄**５～９**に当てはまる語の組合せで正しいものを以下の表からすべて選び，(1)～(8)の番号で答えよ。ただし，四倍体胚の遺伝子型も，便宜上それらが由来する二倍体胚の遺伝子型を用いて表すものとする。

考察：遺伝子型［　5　］のメスと遺伝子型［　6　］のオスとのかけあわせから得られる８細胞期胚（［　7　］倍体）と，遺伝子型 *AA* の８細胞期胚（［　8　］倍体）を用いてキメラを作製する。妊娠後期まで生き残ったキメラの遺伝子型を解析し，遺伝子型［　9　］の細胞だけからなる正常な胎仔が確認されれば，胎仔の形態形成や体細胞の生存には遺伝子 *A* は直接必要ではないことがわかる。

| | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|
| (1) | *Aa* | *Aa* | 二 | 四 | *Aa* |
| (2) | *Aa* | *Aa* | 二 | 四 | *aa* |
| (3) | *AA* | *Aa* | 四 | 四 | *Aa* |
| (4) | *AA* | *Aa* | 四 | 二 | *Aa* |
| (5) | *AA* | *Aa* | 四 | 二 | *aa* |
| (6) | *Aa* | *AA* | 二 | 二 | *aa* |
| (7) | *Aa* | *AA* | 二 | 四 | *Aa* |
| (8) | *Aa* | *AA* | 四 | 二 | *aa* |

# 第３講　メダカの性決定

〔文１〕

動物の生殖様式は配偶子の有無により大きく２つに分けることができる。分裂や出芽によって無性生殖を行う動物の例として，(ア)ヒドラやプラナリアが挙げられる。その一方では，卵と精子の受精によって新しい個体がつくり出される有性生殖という様式もあり，雌と雄の２つの性が存在する。一部のミミズや(イ)ヒトデでは両方の様式によって子孫をふやす。

雌と雄の性がどのようにして決まるかには，かなりのバリエーションがある。性染色体による性決定様式には，雄ヘテロ型の XY 型や雌ヘテロ型の ZW 型などがある。前者の例はヒトやニホンメダカであり，後者の例はニワトリである。また，動物によっては性決定がさまざまな外界の要因によって左右されることがある。たとえば，ワニやカメには性決定が発生中の温度に依存するものが知られている。生態系に放出された人工的な化学物質によって(ウ)ホルモンの作用が影響され，性比が偏る事例としては(エ)イボニシなどの貝類が知られている。

〔文２〕

ニホンメダカの発生中の胚に薬剤を投与し，性決定にどのような影響を与えるか調べようと考えた。この実験では性染色体の組み合わせによって決まる遺伝子型としての雌（XX）あるいは雄（XY）と，表現型としての雌（卵巣をもつ）あるいは雄（精巣をもつ）を個体ごとに対応させる必要がある。

ニホンメダカの Y 染色体は，ヒトと異なり，大きさやもっている遺伝子とその配置が X 染色体とほぼ同じである。そのため，染色体のどの部分でも X と Y の間で乗換えがおこる。また，YY の個体も生存可能である。Y 染色体には雄の形質を決める遺伝子 $y$ があり，この遺伝子の有無により，Y 染色体と X 染色体が区別される。$y$ の近傍には体の色に関わる２つの遺伝子 $R$ と $L$ がある。$R$ は赤い体色に，$L$ は白色素胞の形成に関わる。$R$ の対立遺伝子 $r$ と，$L$ の対立遺伝子 $l$ は，どちらも劣性であり，$rr$ では体色は赤くならず，$ll$ は白色素胞をもたない個体となる。白色素胞は受精後２日で現れ，顕微鏡で観察できるが，赤い体色になるかは受精後１ヶ月たたないと判別できない。$y$ は $R$ と $L$ の間に位置する。そこで(オ)これらの遺伝子の連鎖について調べた。

(カ)表現型を利用してふ化（受精後７日）までに性染色体の組み合わせを知ることができる系統１を作製した。この系統を使い，E または T という薬剤を含む水で，受精卵を成体まで育てた。この処理によって死亡する個体はなく，E を与えると遺伝子型としての雄個体（XY）にも卵巣がつくられ，T を与えると遺伝子型としての雌個体（XX）にも精巣がつくられることがわかった。

〔文３〕

ニホンメダカに近縁な種は東南アジアにも生息する。これらのうちのある種のメダカも性染色体による性決定様式をもつことがわかっていたが，XY 型であるか ZW 型であるかは不明であった。この種でもニホンメダカと同じように処理すると，すべての受精卵が育ち，E によって雌に，T によって雄になることがわかった。したがって，この性質を利用すればこのメダカの性決定様式も実験で明らかにできると考えられる。

実験１　受精卵を E で処理したところ，ふ化したすべての個体が雌になった。これらの複数の雌個体を１匹ずつ隔離して未処理の雄と交配した。それぞれのペア（1 対の雌と雄の個体の組み合わせ）から得られた受精卵はすべて生存したので，生まれた個体の性比をペアごとに調べた。

〔問〕

Ⅰ　文１について，以下の小問に答えよ。

A　下線部(ア)，(イ)，(エ)について。(ア)ヒドラ，(イ)ヒトデ，(エ)イボニシは**図１－１**の系統樹の空欄となっている**１～７**のどの分類群に含まれるか。また，この３つの分類群の名称を答えよ。解答は「ア－**１**－○○」のように組み合わせて記せ。

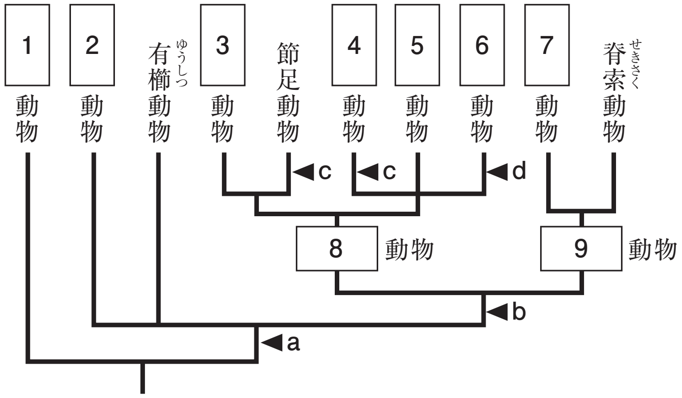



**図１－１**　動物の系統樹

aは胚葉の獲得，bは左右相称の体の獲得，cは体節構造の獲得，dは外套膜(がいとう)の獲得を示す。

B　左右相称の動物は大きく２つに分けられる。**図１－１**の空欄**８**と**９**に当てはまる適切な名称と，**９**動物の特徴を１行（35字）で述べよ。

C　下線部(ウ)について。ホルモンの中には，ペプチドホルモンとステロイドホルモンがある。これらがどのように細胞内に情報を伝達するか，違いがわかるように２行（70字）程度で述べよ。

Ⅱ　文２について，以下の小問に答えよ。

D　性染色体にある遺伝子による遺伝は一般に何とよばれるか。名称を答えよ。また，このような遺伝様式を示す他の事例を１つ，生物の種類とその遺伝する形質を組み合わせて答えよ。

E　下線部(オ)について。**表１－１**に，*R*，*y*，*L* の間の組換え頻度を検定交雑で調べた結果を示す。遺伝子型は，性染色体ごとに表記している。なお，乗換えは２回以上おこらないこととする。以下の(a)と(b)に答えよ。

**表１－１**　性染色体にある遺伝子の組換え

| | 調べた個体の遺伝子型 | かけあわせた個体の遺伝子型 | かけあわせにより生じた全個体数 | 組換えのおこった個体数 | 組換え体の遺伝子型 |
|---|---|---|---|---|---|
| 交配１ | $X^{r}Y^{R}$ | $X^{r}X^{r}$ | 6395 | 11 | **10**<br>**11** |
| 交配２ | $X^{rl}Y^{RL}$ | **12** | 4478 | 102 | **13**<br>**14**<br>$X^{rl}X^{rL}$<br>$X^{rl}Y^{Rl}$ |

(a)　交配１では，どの２つの遺伝子の間の組換えを調べているか。また，その結果生じた組換え体はどのような表現型をもつか。それぞれ答えよ。

(b)　空欄 **10** ～ **14** に当てはまる遺伝子型を，「$X^{rl}Y^{RL}$」のように答えよ。ただし，空欄 **10** と **11**，**13** と **14** に関しては順不同である。

F　下線部(カ)について，以下の(a)と(b)に答えよ。

(a)　ふ化する前に，個体の遺伝子型としての性を区別できるためには，系統１の性染色体には少なくともどの遺伝子が必要であり，雌雄はどのような表現型で区別できるか。これについて，ＸとＹそれぞれの染色体の遺伝子型と，雌雄それぞれの表現型を答えよ。

(b)　この方法で予測した場合，系統１では，色の表現型と遺伝子型としての性はどのくらいの確率で一致するか。**表１－１**の結果を用い，計算して求めよ。なお，乗換えは２回以上おこらないこととする。数値は百分率［％］で表し，四捨五入して小数点第１位まで記せ。

Ⅲ　文３について。

実験１で，この種がXY型あるいはZW型の性決定様式をもつと仮定した場合，それぞれどのような結果が期待されるか。以下の考察の空欄**15**～**18**に当てはまる適切な数値を整数で答えよ。なお，ZW型でもＥによる処理で表現型としての雌が生じるものとする。

考察：XY型の場合は，交配したペアの総数の［ 15 ］％では生まれた個体の［ 16 ］％が雄になり，残りのペアでは生まれた個体の50％が雄になる。一方，ZW型の場合は，ペアの総数の［ 17 ］％では生まれた個体の50％が雄になり，残りのペアでは生まれた個体の［ 18 ］％が雄になる。

# 第４講　選択的スプライシング

次のⅠ，Ⅱの各問に答えよ。なお，**図１−１**，**図１−２**，**図１−６**の中，白い四角部分はエキソンをあらわし，山型の実線はスプライシングにより除去される領域をあらわす。

Ⅰ　次の文章を読み，問Ａ～Ｄに答えよ。

真核細胞において，核内でDNAから(ア)転写されたmRNA前駆体の多くはスプライシングを受ける。(イ)スプライシングが起きる位置や組み合わせは一意に決まっているわけではなく，細胞の種類や状態などによって変化する場合がある。これを選択的スプライシングと呼ぶ。選択的スプライシングは，mRNA前駆体に存在する様々な塩基配列に，近傍のスプライシングを促進したり阻害したりする作用を持つタンパク質が結合することによって，複雑かつ緻密に制御されている。例えば，(ウ)哺乳類の$\alpha$-トロポミオシン遺伝子は，**1a**から**9d**まで多くのエキソンを持つが，発現する部位によって様々なパターンの選択的スプライシングを受け（**図１−１**），これによって作られるタンパク質のポリペプチド鎖の長さやアミノ酸配列も変化する（**表１−１**）。

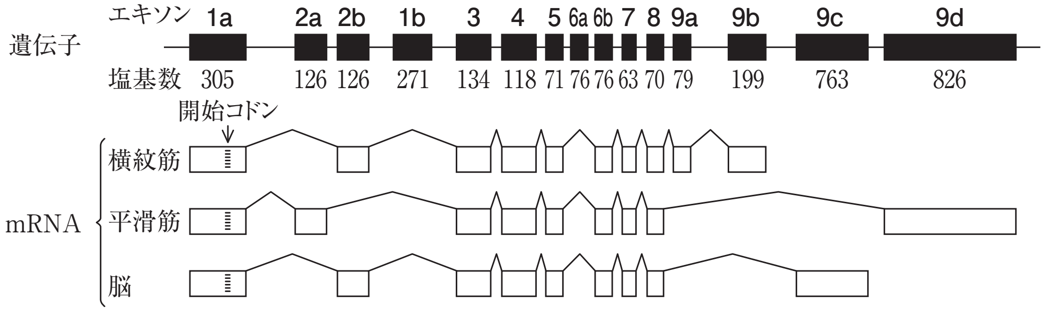



**図１−１**　$\alpha$-トロポミオシン遺伝子の選択的スプライシングの例

**表１−１**　各発現部位における$\alpha$-トロポミオシンタンパク質のポリペプチド鎖の長さ

| 横紋筋 | 平滑筋 | 脳 |
|---|---|---|
| 284アミノ酸 | 284アミノ酸 | 281アミノ酸 |

近年，スプライシングを補正してヒトの遺伝病の治療につなげようとする研究が精力的に行われている。ヒトの5番染色体に存在する *SMN1*(survival motor neuron 1) 遺伝子とそのすぐ隣にある *SMN2* 遺伝子は，塩基配列がほとんど同じであるが，**図１－２**に示す通り，(エ)エキソン７内部のある1つの塩基が，*SMN1* 遺伝子ではＣであるのに対し，*SMN2* 遺伝子ではＴになっているという違いがある。これにより，*SMN2* 遺伝子から作られる mRNA の約9割では，スプライシングの際にエキソン７が使用されず，スキップされた状態となっている。このようにエキソン７がスキップされた mRNA から作られるタンパク質（Δ7 型 SMN タンパク質と呼ぶ）は安定性が低く，すぐに分解されてしまう。一方，*SMN2* 遺伝子から作られる mRNA の残りの約1割では，スプライシングの際にエキソン７が使用され，*SMN1* 遺伝子由来のタンパク質と同じアミノ酸配列を持つタンパク質（全長型 SMN タンパク質と呼ぶ）が作られる（**図１－２**）。ヒトにおいて，*SMN1* 遺伝子の欠損を原因とする脊髄性筋萎縮症と呼ばれる遺伝病が知られている。最近，(オ)脊髄性筋萎縮症の治療に，スプライシングを補正する作用を持つ人工的な核酸分子 X が有効であることが示され，注目を集めている。

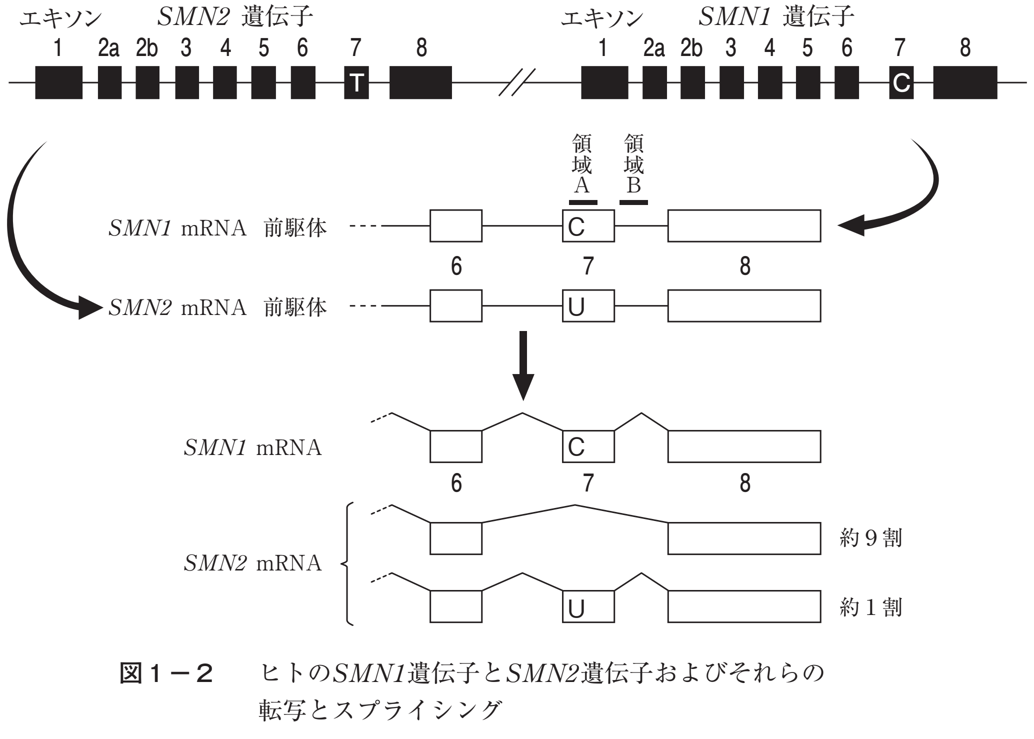



**図１－２**　ヒトの*SMN1*遺伝子と*SMN2*遺伝子およびそれらの転写とスプライシング

〔問〕

A　下線部(ア)について。真核生物における転写の基本的なメカニズムについて，以下の語句をすべて用いて３行（105字）程度で説明せよ。同じ語句を繰り返し使用してもよい。

基本転写因子，プロモーター，RNAポリメラーゼ，片方のDNA鎖，5′→3′

B　下線部(イ)について。異なる塩基配列の６つのエキソン（エキソン１～６と呼ぶ）を持つ遺伝子があるとする。スプライシングの際，エキソン１とエキソン６は必ず使用されるが，エキソン２～５がそれぞれ使用されるかスキップされるかはランダムに決まるとすると，理論上，合計で何種類のmRNAが作られるか答えよ。ただし，スプライシングの際にエキソンの順番は入れ替わらず，エキソンとイントロンの境目の位置は変わらないものとする。

C　下線部(ウ)について。$\alpha$-トロポミオシンmRNAの開始コドンは，**図１－１**に点線で示すとおり，エキソン1aの192～194塩基目に存在する。**図１－１**および**表１－１**の情報から，平滑筋で発現している$\alpha$-トロポミオシンmRNA上の終止コドンは，どのエキソンの何塩基目から何塩基目に存在すると考えられるか答えよ。

解答例：エキソン1bの51～53塩基目

D　下線部(エ)および(オ)について。以下の文中の空欄ａ～ｅに当てはまるもっとも適切な語句を，以下の選択肢①～⑩から選べ。同じ選択肢を繰り返し使用してもよい。
　解答例：ａ－①，ｂ－②

　*SMN1* mRNA 前駆体の領域 A（図１－２）の塩基配列は CAGACAA であり，スプライシングの制御に関わるタンパク質 Y は，この塩基配列を認識して結合する。しかし，*SMN2* mRNA 前駆体の領域 A の塩基配列は［ a ］となっており，ここにはタンパク質 Y は結合できない。これらのことから，タンパク質 Y には，スプライシングの際にエキソン７が［ b ］されることを促進するはたらきがあると考えられる。
　一方，*SMN1* mRNA 前駆体と *SMN2* mRNA 前駆体で共通の領域 B（図１－２）には，スプライシングの制御に関わるタンパク質 Z が認識して結合する塩基配列が存在する。脊髄性筋萎縮症の治療に有効な人工核酸分子 X は，領域 B の塩基配列と相補的に結合し，タンパク質 Z の領域 B への結合を阻害すると考えられている。これらのことから，タンパク質 Z には，スプライシングの際にエキソン７が［ c ］されることを促進するはたらきがあり，人工核酸分子 X は，［ d ］遺伝子のスプライシングを補正することによって，［ e ］型 SMN タンパク質を増加させる作用を持つと考えられる。

| | | | |
|---|---|---|---|
| ①　TAGACAA | ②　CATACAA | ③　UAGACAA | ④　CAUACAA |
| ⑤　使用 | ⑥　スキップ | ⑦　*SMN1* | ⑧　*SMN2* |
| ⑨　*Δ* 7 | ⑩　全長 | | |

II　次の文章を読み，問 E ～ H に答えよ。

近年の塩基配列解析装置の急速な進歩によって，生体内に存在する RNA を網羅的に明らかにする「RNA-Seq」と呼ばれる解析を行うことが可能になった（**図１－３**）。例えば，今日用いられているある装置を用いて RNA-Seq を行った場合，長い RNA の塩基配列全体を決定することはできないが，それらの RNA を切断することで得られる短い RNA について，数千万を超える分子数の RNA の塩基配列を一度に決定することができる。こうして決定される一つ一つの短い塩基配列を「リード配列」と呼び，DNA に含まれる 4 種類の塩基を表す A，C，G，T のアルファベットをヌクレオチド鎖の 5′→ 3′の順に並べた文字列として表す（塩基配列決定の際に RNA は DNA に変換されるため，U は T として読まれる）。リード配列を決定した後，そのリード配列の元となった短い RNA がゲノム中のどの位置から転写された RNA に由来するかを決めるためには，コンピュータを用いて，ヌクレオチド鎖の向きも含めてリード配列と一致する塩基配列がゲノムの中に出現する位置を見つける「マッピング」と呼ばれる解析を行う。今日の生物学では，このように膨大なデータを情報科学的に解き明かしていくバイオインフォマティクスが重要となっている。

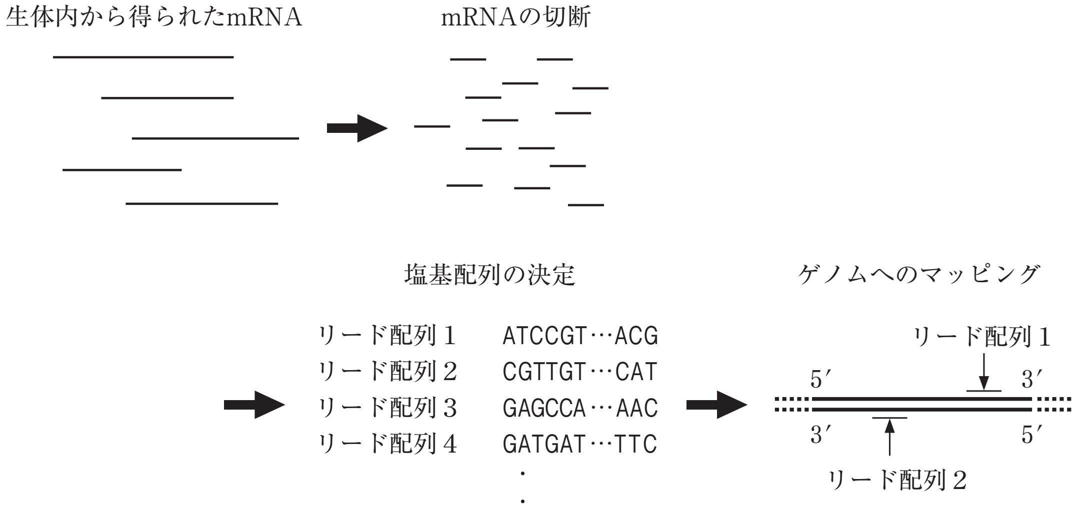



**図１－３**　mRNAを対象としたRNA-Seqの概略図

〔問〕

E　ヒトのゲノム（核相 $n$ の細胞が持つ全 DNA）の塩基対数はおよそ $3\times10^{\boxed{\text{f}}}$ である。空欄 f に当てはまる整数を答えよ。

F　一般に，真核生物の遺伝子から転写された mRNA 前駆体には，スプライシングが起きるほか，アデニンが多数連なったポリ A 配列と呼ばれる構造が付加される。これを利用して，真核生物の生体内から得られた RNA を，ある塩基が多数連なった一本鎖の DNA が結合した材質に吸着させることで，mRNA を濃縮して解析することができる。その塩基の名称をカタカナで答えよ。

G　リード配列が「ある特徴」を持つ場合，そのリード配列と一致する塩基配列はゲノムの２つのヌクレオチド鎖の全く同じ位置に出現する（**図１－４**）。「ある特徴」とはどのようなものかを考え，その特徴を持つ 10 塩基の長さの塩基配列の例を１つ答えよ。塩基配列は A，C，G，T のアルファベットを 5′→ 3′の順に並べた文字列として表すものとする。

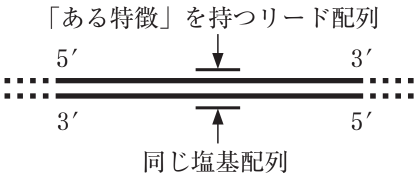



**図１－４**　「ある特徴」を持つリード配列のマッピング

H　真核生物の生体内から得られたmRNAサンプルに対してRNA-Seqを行い，得られたリード配列をゲノムに対してマッピングし，各遺伝子の各エキソン内にマッピングされたリード配列の数を数えた（**図１－５**）。RNA-SeqにおいてmRNAは短いRNAにランダムに切断され，解析装置に取り込まれて塩基配列が決定されたとする。リード配列は各エキソンの長さに比べれば十分に短い一定の長さを持ち，いずれかの遺伝子のエキソン内の１カ所に明確にマッピングされたものとして，以下の問(あ)～(う)に答えよ。

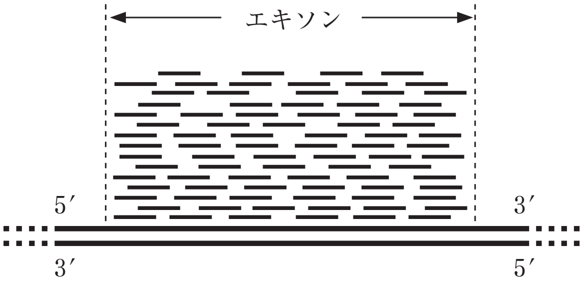



**図１－５**　ある遺伝子のエキソンに多数のリード配列がマッピングされた様子

(あ)　遺伝子１～６のエキソンの塩基数の合計と，エキソン内にマッピングされたリード配列の数の合計は**表１－２**に示すとおりであった。このことから，遺伝子１～６のうち，mRNAの分子数が最も多かったものは遺伝子［ g ］，最も少なかったものは遺伝子［ h ］であったと考えられる。空欄g，hに入る数字を答えよ。ただし，遺伝子１～６は選択的スプライシングを受けないものとする。解答例：g－1，h－2

**表１－２**　RNA-Seqの結果（遺伝子１～６）

| | 遺伝子1 | 遺伝子2 | 遺伝子3 | 遺伝子4 | 遺伝子5 | 遺伝子6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| エキソンの塩基数の合計 | 1000 | 800 | 3000 | 2500 | 1500 | 1800 |
| エキソン内にマッピングされたリード配列の数の合計 | 4500 | 50 | 10000 | 150 | 7000 | 9000 |

(い)　遺伝子７は４つのエキソンを持ち，各エキソンの塩基数と，エキソン内にマッピングされたリード配列の数は**表１－３**に示すとおりであった。遺伝子７は選択的スプライシングを受け，エキソン２かエキソン３のいずれか，あるいは両方がスキップされることがある。**図１－６**に示すように，エキソンが一つもスキップされないmRNAの分子数を$x$，エキソン２のみがスキップされたmRNAの分子数を$y$，エキソン３のみがスキップされたmRNAの分子数を$z$，エキソン２と３の両方がスキップされたmRNAの分子数を$w$とおく。いま$x$が0だったとすると，$y$と$z$と$w$の比はこの順番でどのようになるか，最も簡単な整数比で答えよ。解答例：3：2：5

**表１－３**　RNA-Seqの結果（遺伝子7）

| | エキソン１ | エキソン２ | エキソン３ | エキソン４ |
|---|---|---|---|---|
| エキソンの塩基数 | 800 | 600 | 400 | 1000 |
| エキソン内にマッピングされたリード配列の数 | 16800 | 3600 | 3200 | 21000 |

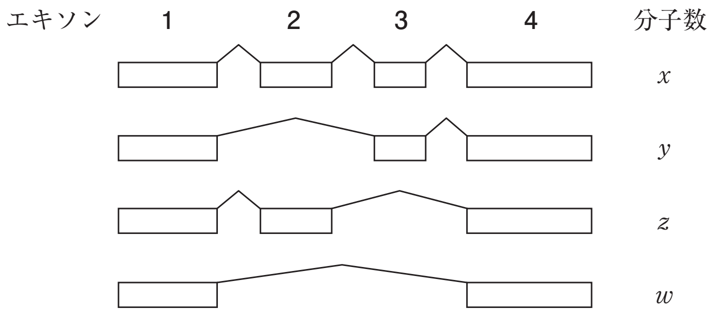



**図１－６**　遺伝子７の選択的スプライシング

(う)　遺伝子７について，$x$が0とは限らないとして，$x$，$y$，$z$，$w$の間に成り立たない可能性がある関係式を以下の選択肢(1)～(6)から２つ選べ。

(1)　$x < y$　　(2)　$x+z < y+w$　　(3)　$x < w$

(4)　$y > z$　　(5)　$y > w$　　(6)　$z < w$

# 第５講　マラリア原虫の寄生

次の文１～文４を読み，Ⅰ～Ⅳの各問に答えよ。

〔文１〕

マラリア症は,病原体であるマラリア原虫（原生動物）が蚊の一種であるハマダラカによって媒介される感染症である。この感染症の特徴はハマダラカによる吸血によって病気が伝わることであり，**図１**に示すような生活環にしたがって，マラリア原虫がほ乳類などの動物とハマダラカの間を循環しながら増殖する。ハマダラカ体内では，マラリア原虫は有性生殖期を経たのちにオーシストとなり，ひとつのオーシストからは数百のスポロゾイトが生み出される。そのスポロゾイトはハマダラカの唾液腺に侵入することによって初めて感染性を得る。(ア)感染したヒトやネズミは場合によっては致死となるが，媒介するハマダラカ自身はマラリア原虫が体内に侵入しても，寿命や生殖能力に影響をうけない。

ここに，異なる二系統のハマダラカがあり，それぞれＸ系統とＹ系統とする。これらの系統は観察されるすべての表現型について純系であり，また外見からは区別がつかない。これらの系統を用いて，以下の実験をおこなった。マラリア原虫をネズミに感染させ，十分な量のマラリア原虫の増加が血中に観察されたのち，このネズミをそれぞれ数十匹のＸ系統とＹ系統のハマダラカに吸血させた。一週間の後，一部のハマダラカの腹部を解剖したところ，Ｘ系統とＹ系統ともに体内に多くのオーシストが観察された。しかし，Ｘ系統ではそのすべてのオーシストにおいて黒い色素の沈着がみられた。(イ)別の実験から，Ｙ系統のハマダラカはマラリア原虫をネズミに媒介することができるが，Ｘ系統はその能力をもたないことがわかり，色素沈着がその原因であると考えられた。

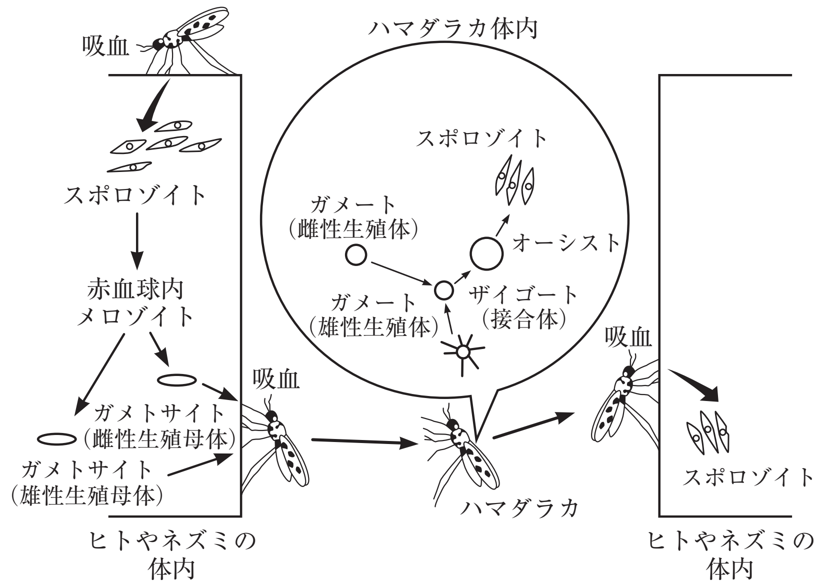



**図１**　マラリア原虫の生活環

マラリアに感染したヒトやネズミを吸血したハマダラカ体内では雌雄のガメートが受精してザイゴートとなり，それが分化してオーシストとなる。オーシスト内部で作られた大量のスポロゾイトは，ハマダラカが吸血したときにヒトやネズミの血中に送り込まれ，新たな感染を引き起こす。

〔文２〕

X系統のオスとY系統のメスを交配し，次の世代を得た（F1 世代）。このメスと，X系統またはY系統のオスを交配することによって，さらに次世代を得た（戻し交配世代）。ハマダラカはメスのみが吸血することから，必然的にマラリア原虫を媒介するのもメスである。この戻し交配世代のメスに，マラリア原虫が感染したネズミを吸血させ，文１の実験と同様に体内のオーシストを観察し，黒い色素の沈着していない正常なオーシストの割合（**図２**）を調べた。また同時に，(ウ)ハマダラカの体内に存在しているマラリア原虫の総数（正常オーシスト数＋色素沈着オーシスト数）（**図３**）も調べた。

この実験において，色素沈着の表現型を支配する遺伝子座が二つ以上あると仮定すると，それらの遺伝子座は別々の染色体もしくは同一の染色体上に存在する場合が考えられる。前者ではそれぞれの対立遺伝子が［ 1 ］の法則にしたがい分離し，後者では染色体の［ 2 ］により乗換えが生じ，連鎖している対立遺伝子の組み合わせが変化し，その結果［ 3 ］が起こる。このような場合，戻し交配世代の表現型はばらつきを示すことが多い。よって**図２**から考えると，オーシスト色素沈着の形質は(エ)ひとつの遺伝子座によって支配されていると考えられた。さらに，オーシストに色素沈着がおきる形質が［ 4 ］または［ 5 ］であるならば，**図２**のX系統を用いた戻し交配の実験において正常なオーシストをもつハマダラカ個体も観察されるはずであり，よってX系統の対立遺伝子由来の形質が［ 6 ］であると考えられる。

（注）遺伝子座とは染色体やゲノムにおける遺伝子の位置のことであり，二倍体における対立遺伝子の遺伝子座は同一である。

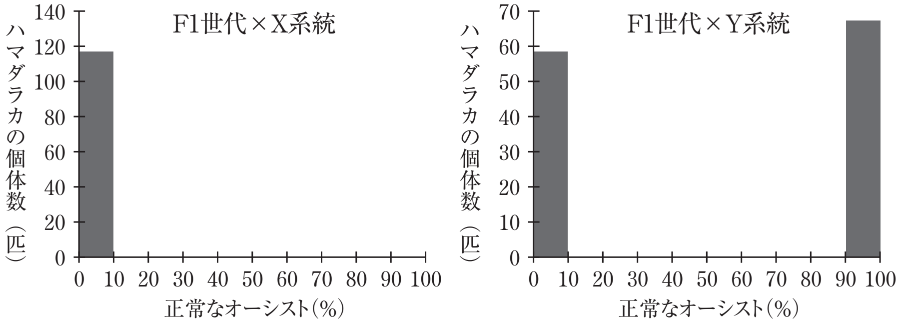



**図２**　戻し交配世代におけるハマダラカ個体中の正常オーシストの割合

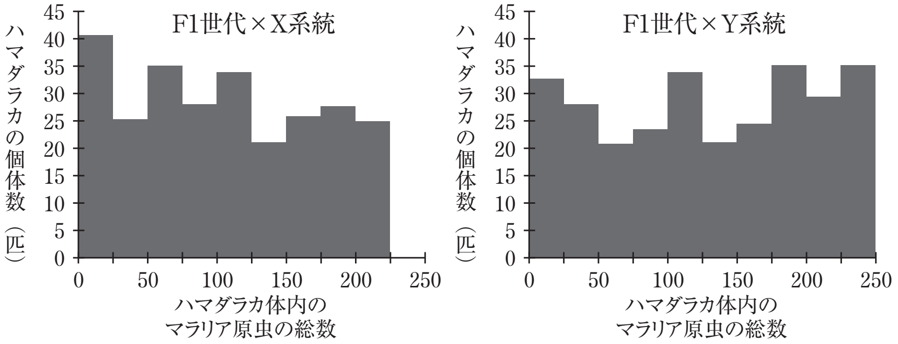



**図３**　戻し交配世代のハマダラカの体内に存在しているマラリア原虫の総数

〔文３〕

ハマダラカでは最近ゲノム解読がほぼ終了し，さまざまな手法により表現型と遺伝子の機能の関係を調べられるようになった。そのひとつに，DNA マーカーを用いた手法がある。この DNA マーカーには，ゲノム中に数塩基の短い配列が反復したマイクロサテライトとよばれるものが主に利用され，系統ごとにその反復回数が異なる。その反復回数の違いを検出することによって，その DNA マーカー近傍の染色体領域がどちらの系統由来のものか判別できる。

いま，ハマダラカのＸ系統における色素沈着を支配する遺伝子座が，染色体のどこに存在するかを調べるために，DNA マーカーを使った以下の実験をおこなった。別の実験から，ハマダラカがもつ一対の性染色体と二対の常染色体のうち，その遺伝子座は２番染色体に位置することがわかり，(オ)２番染色体上に存在する三種類の DNA マーカー（マーカー１，マーカー２，マーカー３）を用意した。文２の実験において，F1 世代のメスとＹ系統のオスを交配することによって得られた戻し交配世代のハマダラカの体細胞から DNA を抽出し，各 DNA マーカーの塩基配列の長さをゲル電気泳動法により判別し，オーシストの色素沈着の表現型との相関を調べた。同時にもとのＸ系統とＹ系統に加え F1 世代も調べ，それらの代表的な実験データを**図４**に示した。なお，同じ DNA マーカーの組み合わせを示すハマダラカは，色素沈着に関していずれも同じ表現型を示したものとする。これらの結果から，これらの DNA マーカーのうち［ 7 ］の近くに，Ｘ系統における色素沈着を支配する遺伝子座があると考えられた。実際に調べたところ，ある遺伝子Ｚが関わっていることが明らかになった。(カ)Ｙ系統の遺伝子Ｚには，Ｘ系統には存在しない一塩基挿入が見つかり，これによりＹ系統ではこの遺伝子Ｚ由来のタンパク質が存在しないことがわかった。

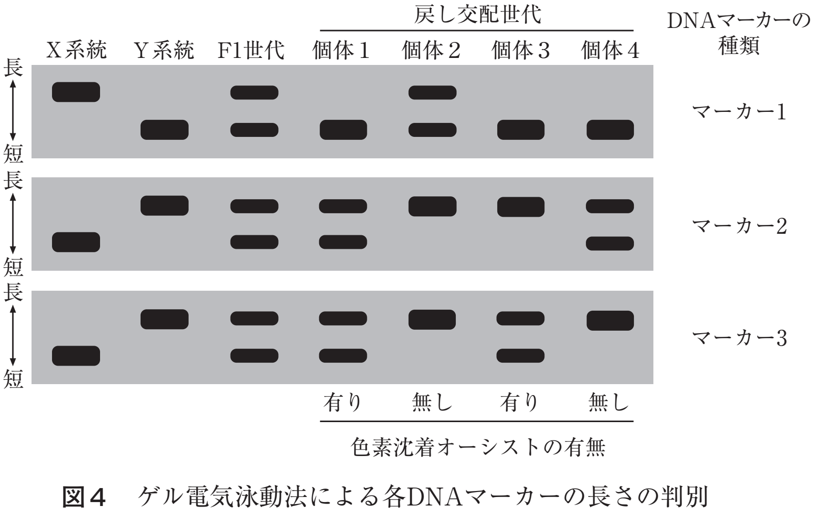



**図４**　ゲル電気泳動法による各DNAマーカーの長さの判別

〔文４〕

マラリア原虫をもったハマダラカがヒトを吸血すると，マラリア原虫のヒトへの感染が起こる。(キ)マラリア症の患者は定期的な発熱により体力を奪われ，悪性マラリアの場合には死に至ることもある。ヒトに感染したマラリア原虫は赤血球に侵入して爆発的に増殖する。赤血球には［８］とよばれる色素タンパク質が存在し，［９］の運搬をおこなっている。［８］の遺伝子には正常型の対立遺伝子 *A* と，塩基が１か所だけ置き換わった変異型の対立遺伝子Ｓがある。対立遺伝子 *S* から生じる［８］分子は，その立体構造が正常型と異なっており，赤血球の形態異常の原因となる。遺伝子型 *SS* の人は赤血球の形態異常を特徴とするかま状赤血球貧血症となり，貧血や循環器障害などの重篤な症状を示して生存が困難になる。遺伝子型 *AS* の人では片方の対立遺伝子が正常なため，通常ではかま状になる赤血球は少なく，症状も軽い。マラリア原虫は遺伝子型 *AS* の人の赤血球内部では増殖しにくく，遺伝子型 *AS* の人は遺伝子型 *AA* の人よりもマラリア抵抗性が高いことが知られている。(ク)このため，かま状赤血球貧血症は悪性マラリアが発生する地域で多く見られる。

〔問〕

Ｉ　文１について，以下の小問に答えよ。

Ａ　下線部(ア)について。マラリア原虫 ― ハマダラカ間およびマラリア原虫 ― ヒト・ネズミ間における，それぞれの生物間の相互関係をあらわす語句を答えよ。

Ｂ　下線部(イ)について。どのような実験をすればこのようなことが明らかとなるか，２行（70字）以内で述べよ。

Ⅱ　文２について，以下の小問に答えよ。

Ｃ　空欄１～６に適当な語句を入れよ。

Ｄ　下線部(ウ)について。ハマダラカにおけるマラリア原虫の感染性を支配する遺伝形質について，**図３**からわかることを２行（70字）以内で述べよ。

Ｅ　下線部(エ)について。仮にこの形質が複数の遺伝子座によって支配されているとするならば，それはどのような場合か。２行（70字）以内で述べよ。

Ⅲ　文３について，以下の小問に答えよ。

F　下線部(オ)について。これらの DNA マーカーは染色体上において互いに十分に離れて存在するものを選んだ。その理由を考え，１行（35 字）以内で述べよ。

G　空欄**７**に適当な DNA マーカーの番号を入れ，選んだ理由を２行（70字）以内で述べよ。

H　下線部(カ)について。X 系統のオスと Y 系統のメスを交配して得た F1 世代のメスに，文１と同様にマラリア原虫が感染したネズミを吸血させ，オーシストを観察したときにみられる現象について，正しいものを以下の(1)〜(4)からひとつ選べ。

(1)　色素沈着を抑える機能をもつ遺伝子 Z 由来のタンパク質の量が半分しかないため，色素沈着が起こる。

(2)　色素沈着を誘導する機能をもつ遺伝子 Z 由来のタンパク質の量が半分しかないが，十分な程度に働くことができるため，色素沈着が起こる。

(3)　色素沈着を誘導する機能をもつ遺伝子 Z 由来のタンパク質の量が半分しかないため，色素沈着が起きない。

(4)　色素沈着を抑える機能をもつ遺伝子 Z 由来のタンパク質の量が半分しかないが，十分な程度に働くことができるため，色素沈着が起きない。

Ⅳ　文４について，以下の小問に答えよ。

I　文中の空欄**８**と**９**に適当な語句を入れよ。

J　下線部(キ)について。ヒトにおけるマラリア症が依然として猛威をふるう現在，ハマダラカの X 系統はマラリア制圧のひとつの重要な手段として注目されている。その理由とともに，具体的な使用方法について２行（70 字）以内で述べよ。

K　下線部(ク)について。悪性マラリアが発生する地域に住むヒト集団で，ある年に生まれた新生児の遺伝子型を調べたところ，各遺伝子型が $AA$：$AS$：$SS$＝25：10：１の比で観察された。新生児における対立遺伝子 $S$ の遺伝子頻度を既約分数の形で求めよ。

L　この地域では，これらの新生児が成人になるまでの過程で，遺伝子型 $AA$ をもつ者の一部が悪性マラリアで死亡し，遺伝子型 $SS$ をもつ者の全てがかま状赤血球貧血症で死亡する。また，それ以外の者はすべて成人に達するとする。成人における対立遺伝子 $S$ の頻度を調べたところ，新生児における頻度と等しかった。新生児が成人になるまでの過程で遺伝子型 $AA$ をもつ者のうちどれだけの割合が死亡するか。既約分数の形で答えよ。

# 第６講　植物の環境応答

次の文１と文２を読み，ⅠとⅡの各問に答えよ。

〔文１〕

植物や緑藻など，光合成を行う生物は，光のエネルギーを利用して$CO_2$を固定し，糖をはじめとする有機物をつくることができる。この過程は，大きく２つの段階に分けられる。第一段階では，葉緑体のチラコイド膜にある光化学系が光を吸収して，(ア)$H_2O$から電子を引き抜き，この電子を順次伝達しながら，ストロマからチラコイド内腔へと$H^+$を運ぶ。(イ)電子は最終的に補酵素の$NADP^+$に渡され，NADPHが生じる。また，$H^+$の運搬によって形成された$H^+$濃度勾配に従い，$H^+$がチラコイド内腔からストロマへ流れ込むときに，これと共役して(ウ)ADPからATPが合成される。第二段階では，第一段階で生産された(エ)NADPHとATPを使って，$CO_2$を固定し糖を合成する一連の反応が進行する。

光合成でつくられた糖からは，様々な有機物が派生する。光合成生物は，こうして得た有機物を体の素材に用いるほか，一部を基質として呼吸を行い，エネルギーを(オ)ATPの形で取り出していろいろな生命活動に利用する。全体を見ると，光合成生物では，光合成で光のエネルギーを有機物の化学エネルギーに変換し，このエネルギーを呼吸で取り出していることになる。

光合成は$CO_2$を消費して$O_2$を発生し，呼吸は$O_2$を消費して$CO_2$を発生するため，両者を行う光合成生物では，(カ)気体交換はそれぞれの活性を反映した複合的なものとなる。逆に言えば，気体交換の詳しい分析から，光合成と呼吸の動態を推定することができる。

〔文２〕

植物の体は，光合成器官の葉と，それ以外の器官の茎や根からなる。植物は光合成で得た有機物を，これらの器官の構築に振り向けて成長していく。光合成量を増やしてより早く成長するには，葉への物質分配を高め，葉の割合を大きくした方がよいが，周りの植物と光をめぐって競争している環境では，(キ)茎を伸ばして葉を高い位置で展開するために，茎への物質分配も重要である。自立性の植物では，葉の量に応じて茎を太くしなければ葉をしっかりと支えられないので，このことが茎への物質分配の下限を規定し，葉への物質分配を制約している。これに対し，他の植物などを支柱とする「つる植物」では，自分の茎で葉の重量を支えなくてすむので茎を細くでき，その分(ク)茎への物質分配の下限が緩和されるとともに，分配される物質当たりの茎の伸長量が増大する。これらの点で，つる植物は早くまた高く成長するのに有利であると言える。

つる植物は，支柱に絡みついたり巻きついたりするために，特別な器官や性質を発達させている。(ケ)巻きひげは絡みつくための器官の代表例で，様々なつる植物に見られる。(コ)巻きひげは，葉または茎が特殊化したものである。(サ)巻きひげなどを使わずに，茎全体で支柱に

巻きつくようなつる植物も多い。このようなつる植物では，茎の先端が円を描くように動く回旋運動（**図１－１**）を，支柱の探索に利用している。(シ)茎が回旋運動を行いながら成長し，(ス)何か支柱になるものに接触すると屈曲して巻きつくのである。巻きひげの形成にせよ，支柱の探索にせよ，相応のコストがかかるはずであるが，(セ)進化上何度もつる植物が出現していることは，成長上の有利さがこのコストを上回る場合が多いことを示唆している。

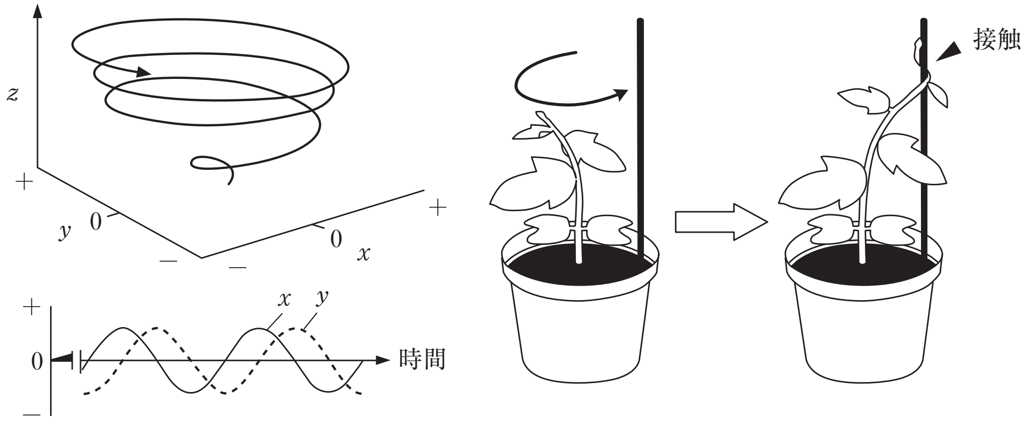



**図１－１**　つる植物Wの回旋運動と支柱への巻きつき

左上は，$xyz$ 空間における回旋運動中の茎先端部の軌跡。左下は，茎先端の$x$座標と$y$座標の変化が示す，水平方向の往復振動パターン。右は，回旋運動をしていた茎が支柱に接触して巻きつく様子。

〔問〕

Ⅰ　文１について，以下の小問に答えよ。

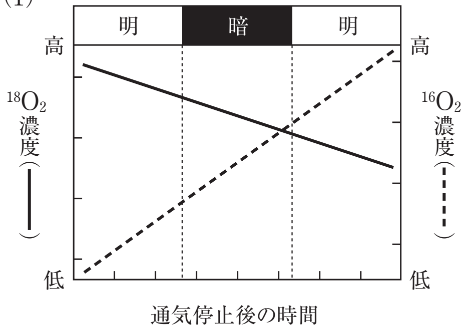
A　下線部(ア)・(イ)のように，光化学系の電子伝達では $H_2O$ からの電子を受けて NADPH が生じるが，自発的な酸化還元反応では逆に NADPH からの電子を受けて $H_2O$ が生じ，エネルギーが放出される。このエネルギーを NADPH 1 分子当たり $\alpha$ とする。下線部(ウ)も自発的な反応とは逆であり，自発的には ATP から ADP が生じ，エネルギーが放出される。このエネルギーを ATP 1 分子当たり $\beta$ とする。通常，光合成では，2 分子の $H_2O$ から始まる電子伝達に伴い，3 分子程度の ATP が合成される。下線部(エ)では，1 分子のグルコースの合成に相当する反応に，12 分子の NADPH と 18 分子の ATP が使われる。下線部(オ)では，1 分子のグルコースを基質とする呼吸により，最大 38 分子の ATP が合成される。これらを踏まえると，1 分子のグルコースの合成に相当する光合成では，光化学系に吸収された光のエネルギーと $\alpha$，$\beta$ について，どのような大小関係が考えられるか。以下の(1)～(10)から，もっとも適切なものを選べ。

(1)　光エネルギー $< 12\alpha + 18\beta < 38\beta$
(2)　光エネルギー $< 38\beta < 12\alpha + 18\beta$
(3)　$12\alpha + 18\beta <$ 光エネルギー $< 38\beta$
(4)　$38\beta <$ 光エネルギー $< 12\alpha + 18\beta$
(5)　$12\alpha + 18\beta < 38\beta <$ 光エネルギー
(6)　$38\beta < 12\alpha + 18\beta <$ 光エネルギー
(7)　$18\beta <$ 光エネルギー $< 12\alpha < 38\beta$
(8)　$18\beta <$ 光エネルギー $< 38\beta < 12\alpha$
(9)　$12\alpha < 18\beta <$ 光エネルギー $< 38\beta$
(10)　$18\beta < 12\alpha <$ 光エネルギー $< 38\beta$

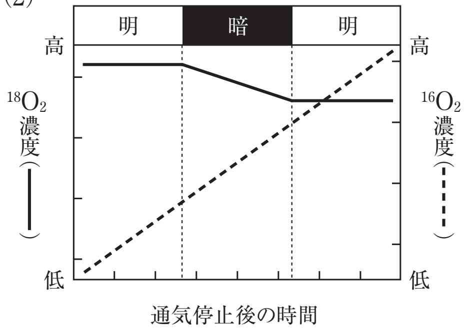
B　下線部(カ)について。光合成と呼吸の活性を同時に調べるための実験として，単細胞緑藻の培養液に $^{18}O_2$ を通気し，通気を止めた後に，光条件を短時間に明→暗→明と切り替えながら，培養液中の $^{18}O_2$ 濃度と $^{16}O_2$ 濃度の変化を測定することを考える。測定開始時点では与えた $^{18}O_2$ 以外に $^{18}O$ を含む物質は培養液中に存在しないとしたとき，$^{18}O_2$ 濃度と $^{16}O_2$ 濃度はどう変化すると推測されるか。以下の(1)〜(6)から，もっとも適切なものを選べ。

（注）$^{16}O$ と $^{18}O$ は酸素原子の安定同位体。天然ではほとんどが $^{16}O$。

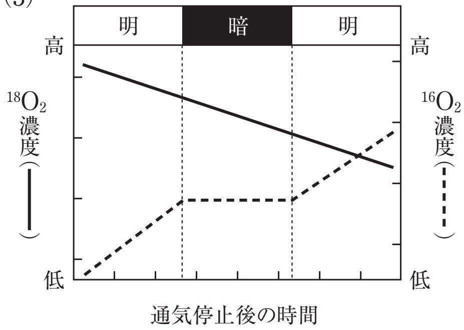
(1)



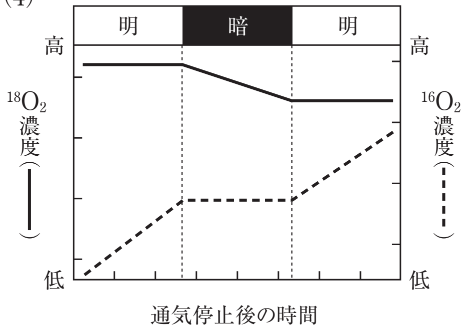

(2)



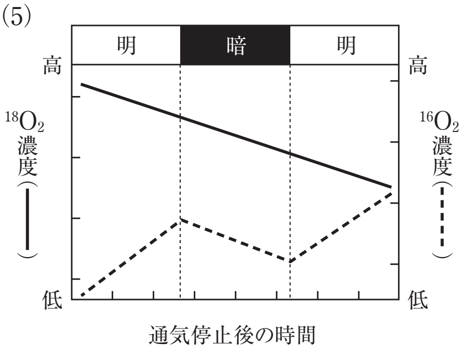

(3)



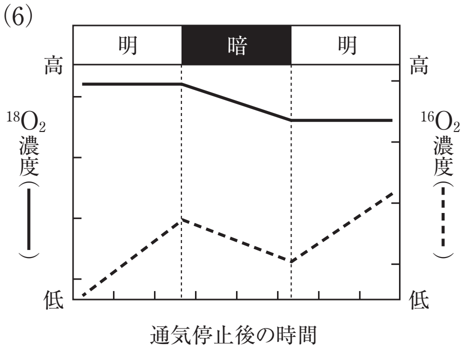

(4)




(5)



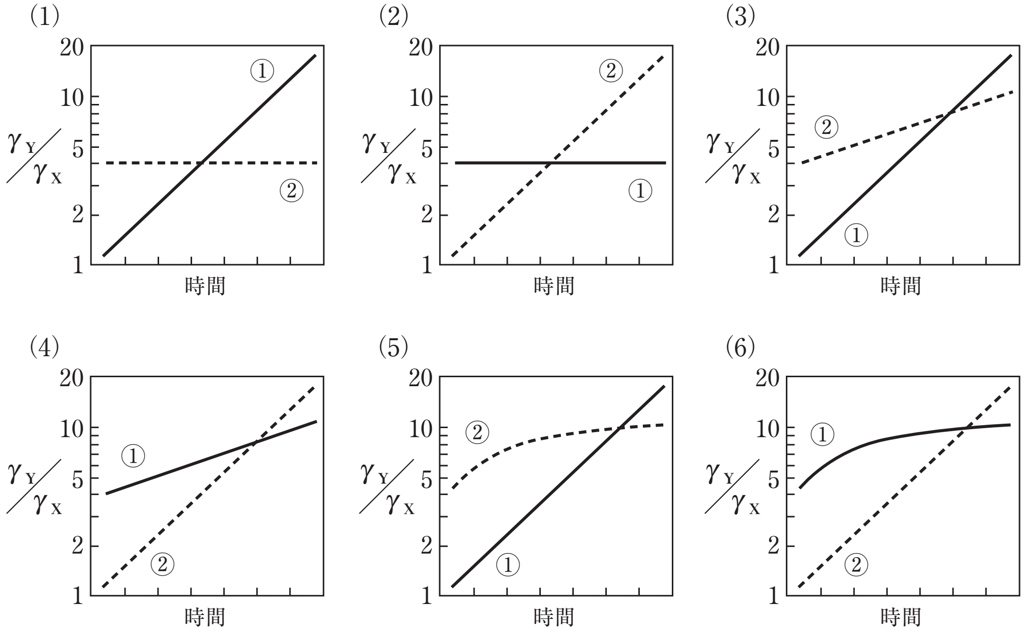

(6)



Ⅱ　文２について，以下の小問に答えよ。

C　下線部(キ)について。茎の伸長は，光などの様々な環境要因や，体内の植物ホルモンによって調節されている。茎の伸長の抑制にはたらく光受容体を１つ，茎の伸長を促進させる作用をもつ植物ホルモンを２つ答えよ。

D　下線部(ク)について。植物個体が光合成で有機物を生産する速度は，その時点で個体がもつ葉の量に比例し，生産した有機物は，葉とそれ以外の器官に一定の割合で分配されて，各器官の成長に使われるものとする。今，茎の長さ・重量比（長さ / 重量）が１の自立性植物 X と，茎の長さ・重量比が４のつる植物 Y を想定し，Y の成長戦略として，茎への物質分配を X の 1/4 に減らして，葉への物質分配を X の２倍にする場合（戦略①）と，各器官への物質分配を X と同じにする場合（戦略②）の２通りを考える。X と Y の茎の伸長速度をそれぞれ $\gamma_X, \gamma_Y$ としたとき，2 つの戦略（①と②）で $\gamma_Y/\gamma_X$ の変化パターンはどのようになるか。戦略①を実線，戦略②を破線で表したグラフとしてもっとも適切なものを，以下の(1)～(6)から選べ。



E　下線部(ケ)・(サ)について。巻きひげで支柱に絡みつく植物と，巻きひげをもたず茎全体で支柱に巻きつく植物の例を，それぞれ１種ずつあげよ。ただし，種名は，標準的な和名のカタカナ表記とすること。解答例：巻きひげ －○○，茎全体 －△△

F　下線部(コ)について。下の図（**図１－２**）は，植物Ｚの巻きひげの外観と横断面を示している。Ｚの巻きひげは茎が特殊化したものなのか，葉が特殊化したものなのか。この図から判断し，根拠とともに３行（105字）程度で述べよ。

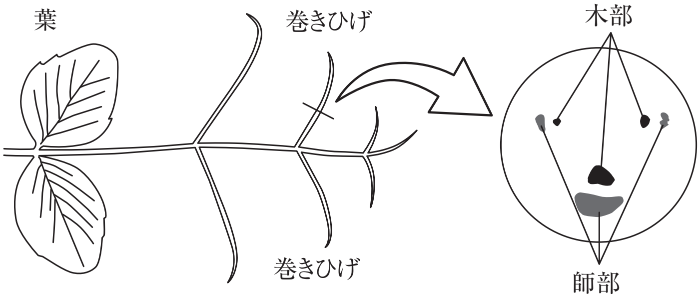



**図１－２**　　植物Ｚの巻きひげ

左は巻きひげとその周辺部の外観(葉の表側から見たもの)。
右は巻きひげ横断面の拡大図(左の図の紙面手前側が横断面の上側になるように示している)。

G　下線部(シ)について。最近の研究から，回旋運動に重力屈性が関与することがわかってきている。有力な仮説では，重力屈性は**図１－１**左下に示すような往復振動を生み，その結果回旋運動が起きるとされる。しかし，茎の重力屈性の基本を，「茎は重力に対して $_a$<u>鉛直上方向</u>に向かおうとする $_b$<u>一定の強さ</u>の負の重力屈性を示し，重力と茎がなす角度を $_c$<u>伸長域</u>で感知し，ずれが $_d$<u>わずかでも</u>あると $_e$<u>すみやかに</u>屈曲する」こととすると，この基本通りでは往復振動は生じない。どの点がどのように異なっていたら，往復振動が生じると考えられるか。以下の(1)～(5)から，もっとも適切なものを選べ。

(1)　ａの点が異なり，鉛直斜め上方向に向かおうとする。
(2)　ｂの点が異なり，強さに周期的な変動がある。
(3)　ｃの点が異なり，茎の先端だけが感知する。
(4)　ｄの点が異なり，ずれが十分に大きくないと反応しない。
(5)　ｅの点が異なり，応答に時間的遅れがある。

H　下線部(ス)について。植物の屈曲反応には，屈曲の方向が刺激の方向に依存する屈性と，依存しない傾性がある。つる植物の茎が支柱に巻きつくときの屈曲反応は，接触屈性のように見えるが，接触傾性の可能性も考えられる。接触傾性である場合，茎の屈曲が支柱に巻きつく方向に起きるのはどのように説明できるか，2行（70字）程度で述べよ。

I　下線部(セ)について。下の図（**図１－３**）は，植物のあるグループについて，DNAの塩基配列情報に基づいて作られた系統樹と，つるに関する形質をまとめたものである。このグループの祖先となった植物はつる性ではなかったとして，グループ内の進化における形質変化の回数を最少とするには，形質の変化がどのように起きたと考えたらよいか。たとえば，「aとbでつる性の獲得が起き，cとdでつる性の喪失が起きた。」というように，図中の記号a～kを使って答えよ。なお，形質変化の回数が最少となる形質変化の起き方が複数ある場合は，それら全てを答えること。

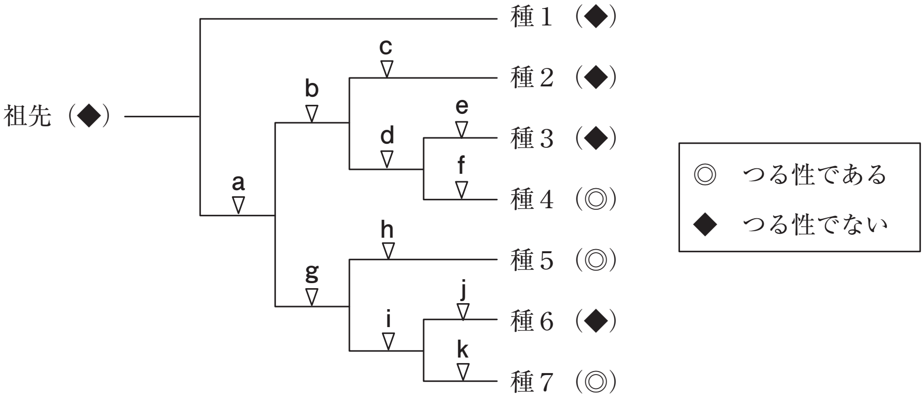



**図１－３**　植物のあるグループ（種１～種７）の系統樹とつるに関する形質

< Note >

# 第７講　植物の光受容体

Ⅰ　次の文章を読み，問Ａ～Ｃに答えよ。

植物の発生や成長は，様々な環境要因の影響を受けて調節されている。環境要因の中でも，温度は，光と並んで，植物の発生・成長の調節において，とくに重要な意味をもつ。温度と光で調節される発生現象の顕著な例の一つが，花芽形成である。日長に応じて花芽を形成する植物は多いが，その中には一定期間低温を経験することを前提とするものがある。低温を経験することで，日長に応答して花芽を形成する能力を獲得するのである。これを春化という。花芽形成に春化を要求する植物は，一般に長日性である。こうした植物では，低温の経験の後に適温と長日条件の２つが揃ったときに，花芽の形成が促進される。

植物はどういうときにどこで低温を感じ取り，それはどのように春化につながるのだろうか。これらの問題に関しては，古くから工夫を凝らした生理学的実験が数多く行われている。例えば，(ア)組織片からの植物体の再生を利用した実験や，(イ)接ぎ木を利用した実験により，春化における低温感知の特徴，春化と花成ホルモン（フロリゲン）の関係などについて，重要な知見が得られている。

シロイヌナズナを用いた分子生物学的解析からは，*FLC* という遺伝子の発現の抑制が春化の鍵であることがわかっている。*FLC* には花芽形成を妨げるはたらきがある。低温期間中に(ウ)*FLC* 領域のクロマチン構造が変化して遺伝子発現が抑制された状態が確立し，*FLC* 発現が低くなることで花芽形成が可能となる。

〔問〕

A　下線部(ア)について。ゴウダソウは春化要求性の長日植物である。ゴウダソウの葉を切り取って培養すると，葉柄の切り口近傍の細胞が脱分化して分裂を始め，やがて分裂細胞の集団から芽が形成されて，植物体を再生する。この植物体再生と低温処理を組み合わせて，春化の特徴を調べる実験が行われた。この実験の概要と結果をまとめたのが**図１－１**である。

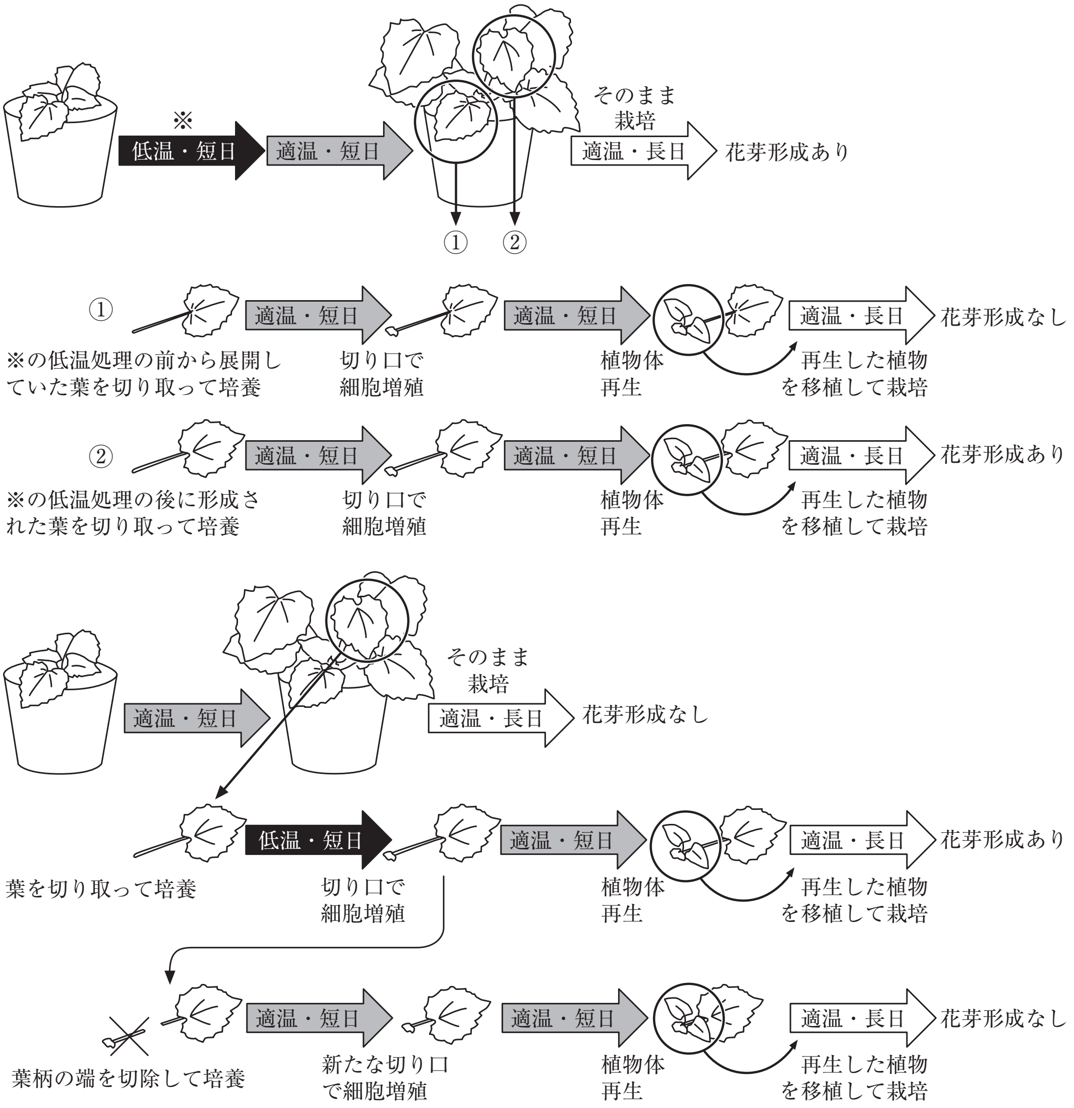



**図１－１**　ゴウダソウの植物体再生を利用した花芽形成実験

以下の(1)〜(5)の記述のそれぞれについて，**図１－１**の実験結果から支持されるなら「○」，否定されるなら「×」，判断できないなら「？」と答えよ。

(1)　一旦春化が成立すると，その性質は細胞分裂を経ても継承される。
(2)　植物体の一部で春化が成立すると，その性質は植物体全体に伝播する。
(3)　春化の成立には，分裂している細胞が低温に曝露されることが必要である。
(4)　春化は脱分化によって解消され，春化が成立していない状態に戻る。
(5)　低温処理時の日長によって，春化が成立するまでにかかる時間が異なる。

B　下線部(イ)について。春化による花芽形成能力の獲得には，花成ホルモンを産生する能力の獲得と，花成ホルモンを受容し応答する能力の獲得の２つが考えられる。これらそれぞれを判定するための，春化要求性長日植物を用いた接ぎ木実験を考案し，判定の方法も含めて実験の概要を５行（175字）程度で説明せよ。なお，図を用いてもよい。

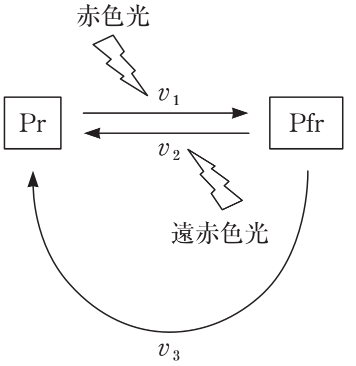
C　下線部(ウ)について。春化における *FLC* の抑制と同様の仕組みは，様々な生物の様々な現象に関わっている。以下の(1)〜(6)のうちから，*FLC* 抑制と同様の仕組みが関わる現象として最も適当なものを１つ選べ。

(1)　大腸菌にラクトースを投与すると，ラクトースオペロンの抑制が解除される。
(2)　酸素濃度の高い条件で酵母を培養すると，アルコール発酵が抑えられる。
(3)　エンドウの果実から種子を取り除くと，さやの成長が止まる。
(4)　ショウジョウバエの受精卵で，母性効果遺伝子の mRNA の局在が分節遺伝子の発現パターンを決める。
(5)　雌のマウスで，２本ある X 染色体の一方が不活性化されている。
(6)　ヒトのある地域集団で，A，B，AB，O の各血液型の割合が，世代を経てもほぼ一定に保たれている。

II　次の文章を読み，問 D ～ G に答えよ。

植物の成長は，成長に適した温度域における，比較的小さな温度の違いにも影響を受ける。最近，シロイヌナズナの胚軸の伸長に対する温度の影響に着目した研究から，フィトクロムの関与を示す画期的な発見があった。

フィトクロムは，光受容体として光応答にはたらく色素タンパク質である。フィトクロムには，赤色光吸収型の Pr と遠赤色光吸収型の Pfr が存在し，Pr は赤色光を吸収すると Pfr に変換し，Pfr は遠赤色光を吸収すると Pr に変換する。また，Pfr から Pr への変換は，光とは無関係にも起きる。**図１－２**に示すように，各変換の速度 $v_1$ ～ $v_3$ は，Pr または Pfr の濃度（[Pr]，[Pfr]）と変換効率を表す係数 $k_1$ ～ $k_3$ の積で決まる。




$$\begin{cases} v_1 = k_1\,[\mathrm{Pr}] \\ v_2 = k_2\,[\mathrm{Pfr}] \\ v_3 = k_3\,[\mathrm{Pfr}] \end{cases}$$

**図１－２**　　フィトクロムの Pr と Pfr の変換

シロイヌナズナの胚軸の伸長は，明所では抑制され，暗所で促進される。これに対して，(エ)フィトクロム完全欠損変異体の胚軸は明所でも伸長し，暗所と同じように長くなることなどから，胚軸伸長の光応答にフィトクロムが関与することはよく知られていた。**図１－３**に示すように，シロイヌナズナの胚軸の伸長は温度にも応答し，10℃から 30℃の範囲の様々な温度で芽生えを育てると，温度が高いほど胚軸が長くなる。この温度応答についてフィトクロム完全欠損変異体を用いて調べてみると，温度の影響がほとんど見られず，どの温度でも胚軸がほぼ一様に長くなったのである。

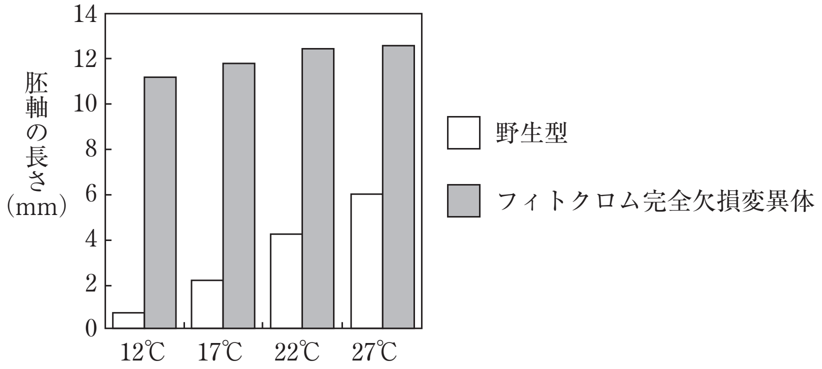



**図１－３**　シロイヌナズナの胚軸の伸長に対する温度とフィトクロム欠損の影響

さらに精製フィトクロムを用いた試験管内実験によって，Pr・Pfr 間の変換に対する温度の影響も調べられた。光による変換の係数である $k_1$ と $k_2$ は，光に依存するが，温度には依存しない。しかし，$k_3$ が温度に依存するなら，Pr・Pfr 間の変換が温度で変わる可能性があり，この点が検討された。(オ)<u>純粋な Pr の水溶液を，赤色光の照射下，様々な温度で保温して，全フィトクロムに占める Pfr の割合を測定する実験により，**図１－４**のような結果が得られた</u>。この結果は，温度応答においてフィトクロムが温度センサーとしてはたらくことを示唆するものとして，注目を集めている。

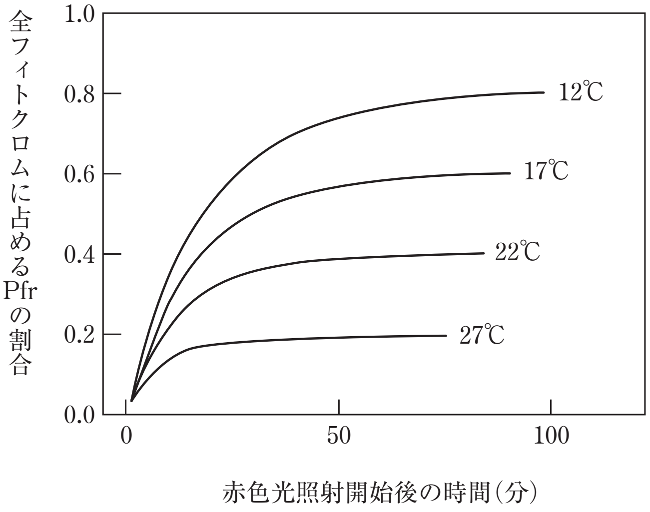



**図１－４**　各温度における Pfr の割合の変化

〔問〕

D　下線部(エ)について，この実験結果から，胚軸伸長の制御において，フィトクロムはどのように作用すると考えられるか。以下の(1)〜(4)のうちから，最も適当なものを１つ選べ。

(1)　Pr が伸長成長を促進する。
(2)　Pr が伸長成長を抑制する。
(3)　Pfr が伸長成長を促進する。
(4)　Pfr が伸長成長を抑制する。

E　下線部(オ)について。**図１－４**の情報に基づいて，$k_3$ と温度の関係をグラフで表せ。なお，横軸に温度を取り，$k_3$ は 27℃のときの値を１とする相対値で縦軸に取ること。また，大きさは，両軸に付す数字も含めて，10 文字分× 10 行分程度とすること。作図はフリーハンドで構わない。

F　下線部(オ)の実験を，赤色光と同時に遠赤色光を照射して行うと，結果はどのようになると予想されるか。以下の(1)〜(5)のうちから，最も適当なものを１つ選べ。

(1)　温度によらず，定常状態での Pfr の割合はほぼ０となる。
(2)　温度によらず，定常状態での Pfr の割合はほぼ１となる。
(3)　温度が高いほど Pfr の割合が低い傾向は赤色光下と同じであるが，温度の影響は弱くなる。
(4)　温度が高いほど Pfr の割合が低い傾向は赤色光下と同じであるが，温度の影響がより強くなる。
(5)　赤色光下とは逆に，温度が高いほど Pfr の割合が高くなる。

G　高温で伸長が促進される性質は，胚軸だけでなく，茎や葉柄でも見られる。この性質が自然選択によって進化したとすれば，それはどのような理由によるだろうか。自由な発想で考え，合理的に説明できる理由の１つを３行（105 字）程度で述べよ。

# 第８講　眼球運動の調節

次の文１と文２を読み，ⅠとⅡの各問に答えよ。

〔文１〕

反射とは，感覚器が受容した刺激が脊髄や脳幹を介して，意識とは無関係に筋肉などの［　1　］器をすばやく反応させる現象である。ヒトの最も単純な反射の１つに膝蓋腱（しつがいけん）反射がある。不意に膝の下の腱がたたかれて，太ももの筋肉が伸展すると，その筋肉の中にある感覚器である筋紡錘（きんぼうすい）が，筋肉の伸展を感知する。その情報は感覚神経を伝わって脊髄に入り，［　2　］を１つだけ介して運動神経に伝達され，同じ筋肉を収縮させて伸展を打ち消すようにはたらく。

一方，前庭動眼反射では，不意に頭が水平方向に回転させられたとき，内耳の感覚器である［　3　］が回転を感知し，その情報が脳幹の神経回路を介して伝達され，視線の方向のずれを打ち消すような眼球運動をひきおこす。これにより，視線の向きが一定に保たれる。**図１－１**にその神経回路の概略を示す。

この図の中の神経核とは，ニューロンの細胞体が多数集まった部分である。簡単のため，ここでは最小限の数のニューロンを表示している。ニューロンの細胞体からのびる軸索の先端には神経終末が形成され，別のニューロンや眼筋（外直筋と内直筋）へと接続している。また，興奮性ニューロンとは，接続先のニューロンの活動を増加させるニューロンであり，抑制性ニューロンとは，接続先のニューロンの活動を打ち消して減少させるニューロンである。

この神経回路を見て，感覚器→前庭神経核（以後，神経核Aとよぶ）→外転神経核（神経核B）→動眼神経核（神経核C）→眼筋，と信号が伝達される際のニューロンの活動について考えてみよう。太い矢印で示すように，頭が左側（水平面上で反時計回り）に回転させられる場合，左側の感覚器の活動は増加し，右側の感覚器の活動は減少する。すると，この神経回路により，左側の神経核Aのニューロン（神経核Aに細胞体のあるニューロン）の活動は増加し，右側の神経核Aのニューロンの活動は減少する。また，左側の神経核Bのニューロンの活動は［　4　］し，右側の神経核Bのニューロンの活動は［　5　］する。さらに，左側の神経核Cのニューロンの活動は［　6　］し，右側の神経核Cのニューロンの活動は［　7　］する。その結果，左右の眼球がともに右に回転する。

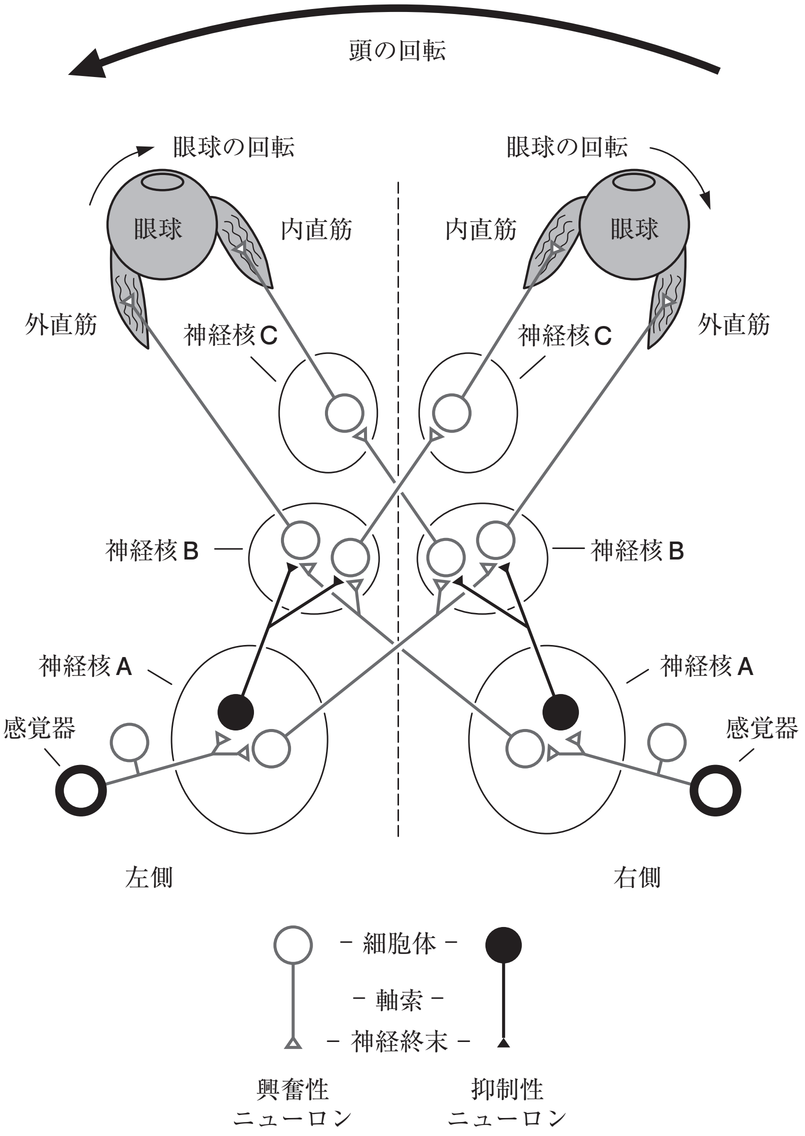



**図１－１**　前庭動眼反射の神経回路

〔文２〕

感覚器が受容した刺激情報は大脳に伝えられ，処理を受けることで感覚が生じる。例えば皮膚からの情報は，大脳にある皮膚の感覚野（体性感覚野）に伝えられる。この体性感覚野には，皮膚のさまざまな部位からの体性感覚情報を処理する領域が，皮膚の位置関係におおむね対応してならんでいる。ヒトの皮膚の中でも［　８　］や［　９　］については，皮膚の単位面積に対応する脳領域が広いので，高い精度が要求される感覚情報の処理が可能である。

一方，視覚情報は大脳にある視覚野に伝えられる。この視覚野には，視野のさまざまな部分からの視覚情報を処理する領域が，視野の位置関係に対応してならんでいる。両眼の視野の左側の視覚情報はともに大脳右半球の視覚野に伝えられ，逆に両眼の視野の右側の視覚情報は左半球の視覚野に伝えられる。**図１－２**は視野の左側と右半球の視覚野の対応関係を示す。

**図１－２**(a)は視野の左側で，H は視野を上下に分ける線，V は視野を左右に分ける線である。＋は視野の上半分，－は下半分，F は視野の中心，P は周辺部を示す。視野の中心から周辺部へのずれの度合いを，角度（2°，10°，40°）であらわす。一方，**図１－２**(b)の上の図は，大脳の右半球を左から見たものである。大脳の視覚野（黒く塗りつぶしてある大脳の部分）は，大脳の溝の中に折りたたまれている。**図１－２**(b)の下の図は，その視覚野を取り出して，大脳半球と前後上下の関係を保ったまま平面に展開して，**図１－２**(a)の視野に対応する視覚野の領域を模式的に表示したものである。

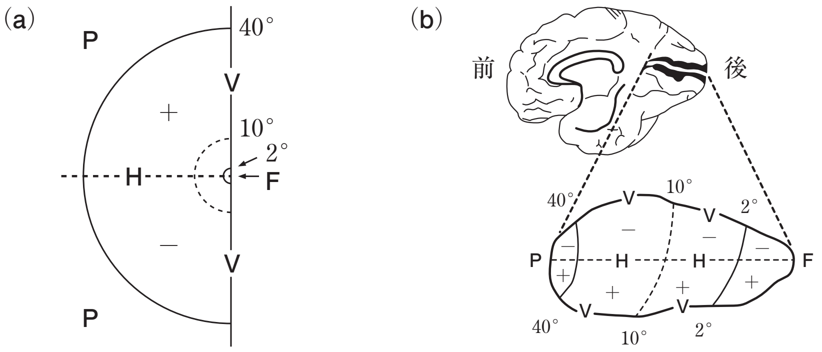



**図１－２**　視野の左側と右半球の視覚野の対応関係

〔問〕

Ⅰ　文１について，以下の小問に答えよ。

A　空欄**１**～**３**に最も適切な語を入れよ。

B　空欄**４**～**７**に「増加」または「減少」の語を入れよ。

C　正常な前庭動眼反射における神経核のニューロンの活動について，以下の(a)と(b)に答えよ。

(a)　左側の神経核**B**のニューロンと左側の神経核**C**のニューロンの活動は相反的に増減する。つまり，一方の活動が増加するともう一方の活動が減少し，逆に一方の活動が減少するともう一方の活動が増加する。同様に，右側の神経核**B**のニューロンと右側の神経核**C**のニューロンの活動も相反的に増減する。このようなニューロンの活動は眼球に対してどのような作用を及ぼすか。そのときの外直筋と内直筋の挙動とともに１～２行（35～70字）で述べよ。

(b)　左側の神経核**B**のニューロンと右側の神経核**B**のニューロンの活動は相反的に増減する。同様に，左側の神経核**C**のニューロンと右側の神経核**C**のニューロンの活動も相反的に増減する。このようなニューロンの活動はどのような左右の眼の動きをひきおこすか。１～２行（35～70字）で述べよ。ただし，(a)で述べた増減の関係は保たれているものとする。

D　**図１－１**で，右側の感覚器の活動が消失した場合，頭を不意に左側に回転させられると，左右の眼球はそれぞれどちらの方向に動くか。理由とともに３行（105字）以内で述べよ。

Ⅱ　文２について，以下の小問に答えよ。

E　下の**図１－３**で，体性感覚野および随意運動を担う運動野は，大脳のどこにあるか。(1)～(4)から最も適切なものを選び，体性感覚野，運動野の順に記せ。

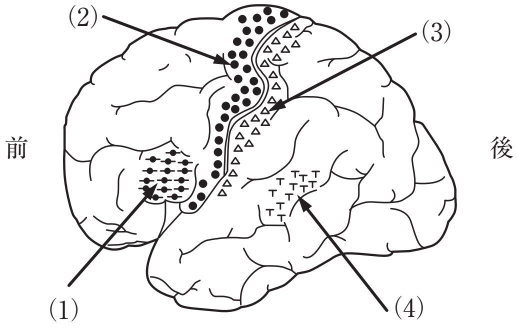



**図１－３**　大脳の左半球

F　空欄**８**と**９**に入る語句として，最も適切なものを次の(1)～(5)から順不同で選べ。

(1)　頭　　(2)　唇　　(3)　腕　　(4)　手の指　　(5)　腹

G　**図１－２**について，次の(1)～(5)から誤った記述を２つ選べ。

(1)　視野の 40° よりも外側（周辺部）に対応する視覚野の領域が存在する。
(2)　視野の 10° から 40° までの部分には，視野の一定の広さあたり，最も広い視覚野の領域が対応する。
(3)　視野の下半分には，視覚野の上半分が対応する。
(4)　視野を上下に分ける線 **H** に対応する視覚野の部分は，大脳の溝の奥に存在する。
(5)　視野を左右に分ける線 **V** に対応する右半球の視覚野の部分は２つ存在する。

H　**図１－４**は，「○」または「×」という視覚対象を見たときの，視野の左側の視覚情報と，対応する右半球の視覚野の領域を太線で示している。一方，**図１－５**は，ある視覚対象を見たときの，対応する右半球の視覚野の領域を太線で示している。**図１－４**を参考にして，この視覚対象として最も適切なものを，**A**，**E**，**H**，**T**，**Y** の中から選べ。ただし，アルファベットおよび「○」と「×」の線の太さは考慮する必要がないものとする。

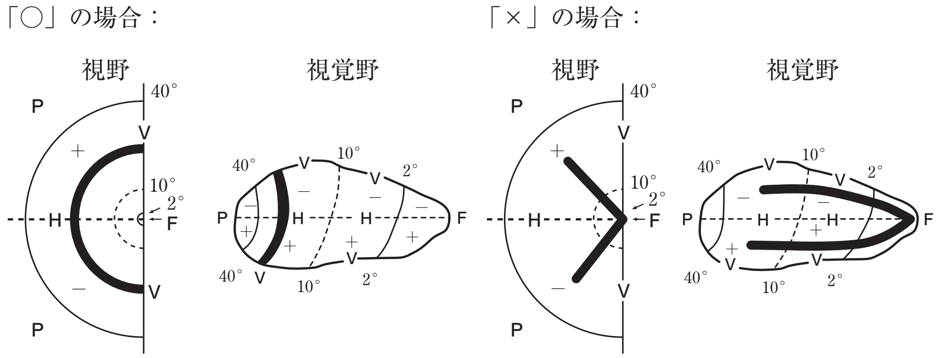



**図１－４**　視野の左側に見える視覚対象(「○」と「×」)と対応する大脳右半球の視覚野の領域(ともに黒の太線で示す)

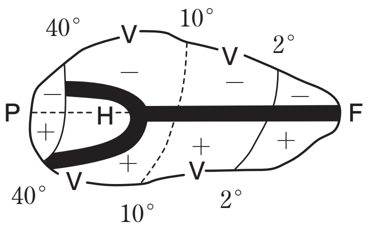



**図１－５**　ある視覚対象に対応する大脳右半球の視覚野の領域

Ⅰ　大脳の視覚野に多数存在するニューロンは，それぞれが視野の特定部分の情報処理を担当する。視覚対象が視野の中心付近に提示されるとき，周辺部に提示されるときに比べて，より小さな視覚対象を識別することができる。これを可能にするために，ひとつのニューロンが担当する視野の範囲は視覚野内で均一ではなく，ある特徴をもつ。どのような特徴か。2 行（70 字）程度で述べよ。

# 第９講　気候変動による分布域の変化

次の文１と文２を読み，ⅠとⅡの各問に答えよ。

〔文１〕

180 万～ 160 万年前頃(注1)に始まり，現在に至る新生代第四紀は，寒冷な時期と温暖な時期が繰り返される，気候変動の大きい時期であった。たとえば，最終［ 1 ］はわずか１万数千年ほど前まで続いていた。この気候変動に合わせて，生物は生存に適した気候帯へ，分布域を変化させたと考えられている。その過程で，環境の変化に適応できなかった種や一部の個体群が絶滅したり，分断・隔離された集団が種分化をおこしたり，というようなことがしばしばおこったと推察される。

本州・四国・九州の山岳地帯の樹林には，ルリクワガタ属という小型のクワガタムシの仲間（**図１－１**）が分布し，現在までに 10 種が記載されている。このうち，**図１－２**に水平分布を示した種 A，種 B，種 C，種 D は，長らく１つの種として扱われてきた。最近になって，これらの種は近縁ではあるものの，(ア)交尾器（雌雄が交尾する時に結合する部分で，交尾時以外は腹部に格納されている）の形態が互いに異なり，遺伝子の塩基配列等によっても互いに識別できる４種であることが明らかになった。**図１－２**の分布域は，それぞれの種の分布確認地点の最も外側の点をなめらかな線で結んだものである。

種 A ～種 D の分布域は基本的に重ならない。２種の分布域の間に平地の空白地帯を挟む場合もあるが，生息に適した樹林が連続しているような地域に境界がある場合には互いに隣り合うように分布している。これらの種は気候変動にともなって隔離されて種分化し，その後分布を拡大して，現在のような分布状態になったと推定される。これらの種の分布境界線は，しばしば，**図１－３**に示したように分水嶺(ぶんすいれい)に近い高地に存在している。そのような境界域を詳しく調べると，幅 1km にも満たない混生地帯をはさんで２種が接している場合がある。したがって，種 A ～種 D は，互いに分布域が接触しても，混ざり合って生息することがない関係だと推定される。

図１－１　ルリクワガタ属の種Ａ（雄）

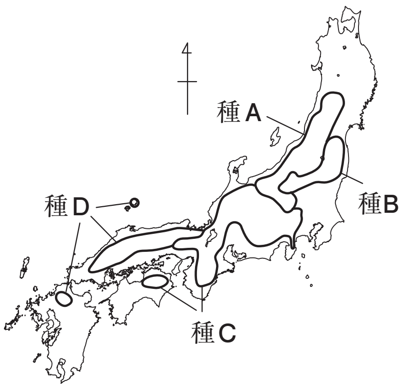



図１－２　種Ａ～種Ｄの水平分布域

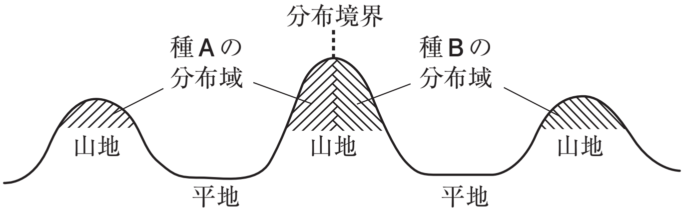



図１－３　種Ａと種Ｂの分布境界付近の模式図。種Ａ～種Ｄの分布境界付近は同様の状態になることが多い。

種Ａ～種Ｄでは，１つの容器に異種の雌雄を入れておくと，しばしば交尾をしようとする。しかし，種間交配では交尾が成立する割合は低く，子ができることも稀で，たとえ雑種個体が生じたとしても，多くの場合，生存能力や生殖能力が低い。このような種間交配のために子孫の数が減少することを「繁殖（生殖）干渉」といい，種Ａ～種Ｄの例のように，近縁な２種が混ざり合って生息することができない原因のひとつと考えられている。

これ以外にも，近縁な種どうしの生息域が隣接しているものの，混ざり合わない現象としては［２］が知られ，餌やすみかをめぐる［３］を避ける効果があると考えられている。

（注１）2009年になって，第四紀の始まりは約260万年前だとする新しい説が広く認められるようになった。

〔文２〕

オオシラビソという高木に成長する樹木は，本州中部～東北地方の山岳地帯に広く分布する一方で，分布を欠く山も多くみられる。(イ)オオシラビソの生育に適していると考えられる標高の範囲であるにもかかわらず，この種が分布しない理由については，現在の気候条件や，種としての水平分布域の変遷などからさまざまな説が唱えられてきた。しかし，気候的にみて分布が可能ではないかと思われ，周囲にも分布が認められるような山でも，オオシラビソが分布しないこともあり，他にも原因があることが予想されていた。

そこで，本州中部～東北地方の多数の山についてオオシラビソの出現状況を調べる研究が行われた。その結果，オオシラビソの分布する山の頂上の標高と，それらの山でのオオシラビソの分布の下限標高との間に，次のような関係が認められた。**図１－４(A)**の黒丸(●)は，オオシラビソが分布する山の緯度と頂上の標高を示しており，a線（実線）はそれらの緯度1°ごとの下限を結んだものである。一方，白丸（○）は，それらの山においてオオシラビソが分布している最低標高の地点の緯度と標高を示しており，b線（破線）はそれらの緯度1°ごとの下限を結んだものである。a線とb線は，緯度によらず標高差300～400mを保ってほぼ平行である。また，(ウ)a線より頂上の低い山には，その頂上の標高がb線を超えていても，オオシラビソは全く分布していないことがわかった。オオシラビソのほか，シラビソ，トウヒ，コメツガなどの樹種においても同様の図を作成すると，a線とb線は，やはり標高差約300～400mをもってほぼ平行になるので，a線とb線の標高差はこれらの樹種に共通の特徴であると思われた。

しかし，ハイマツでは，同様の図を作成すると，**図１－４(B)**に示すように，a線とb線の標高差はオオシラビソなどにくらべて非常に小さかった。ハイマツは高標高地に生える代表的な低木で，他のマツ類と同様に［ 4 ］樹としての性質が強く，オオシラビソやトウヒなどの高木は反対に［ 5 ］樹の性質を示す。

ハイマツは，気候的には許容範囲であったとしても，これらの高木林が優占する場所には生育することがむずかしい。**図１－４(B)**に示すように，ハイマツの分布がしばしば山の［ 6 ］付近に限られるのは，このような他の高木との関係が影響していると考えられる。ハイマツは一般的にオオシラビソよりも［ 7 ］な気候に生育するが，両方の種が生育可能な気候の範囲もある。そのような範囲の場所では，［ 5 ］樹であるオオシラビソが最終的な競争的強者となる。しかし，気候的な制約から高木の生育しにくい［ 6 ］付近の環境下では，比較的低標高であってもハイマツが生育する場合がある。

(エ)中部地方の山岳地域（標高1000～2000m）で地層中の植物の花粉分析（地層の年代を化学的手法で推定し，年代ごとに植物の花粉を同定する）が行われている。その結果，中部地方では，(オ)約3500年前にはオオシラビソを含む複数の樹種の垂直分布が現在より約300～400m，標高の高い方にずれており，その後，現在の垂直分布に近づいたことが明らかになった。

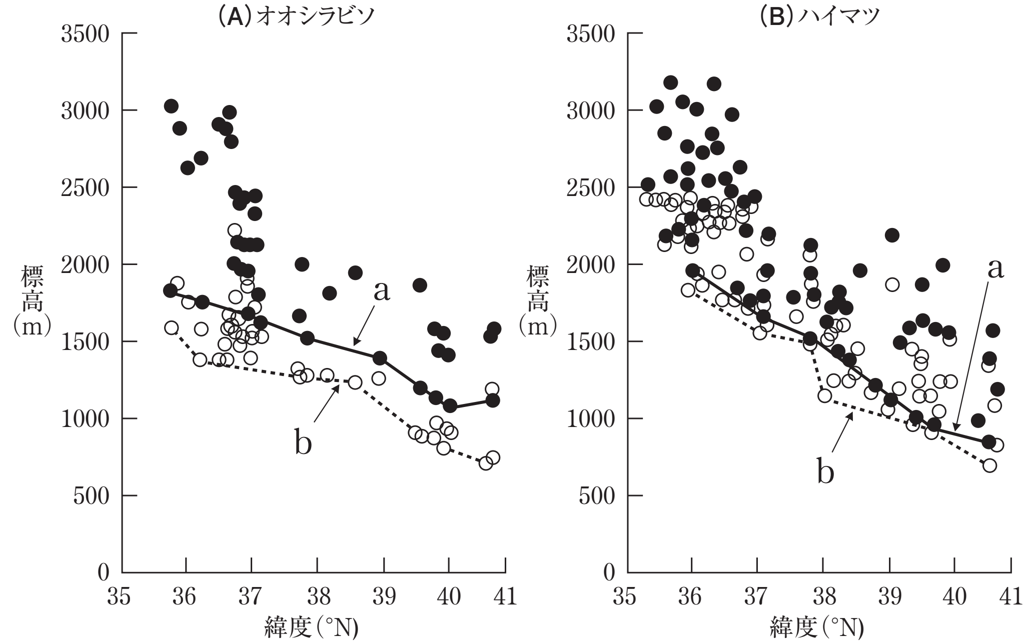



**図１－４**　樹木の分布する山の頂上の標高と分布下限標高の関係。a 線と b 線は，緯度を35°，36°，・・・というように１°ごとに区切り，それらの間の最低標高の黒丸と白丸を，それぞれ結んだものである。

〔問〕

Ⅰ　文１について，以下の小問に答えよ。

A　空欄**１**～**３**に適切な語を入れよ。

B　下線部(ア)について。昆虫の複数の集団を比較すると，外見が非常に似通っていて生態もよく似ているが，交尾器の形態に明瞭な差のある場合がある。このような集団どうしは通常，別種として扱われる。その理由を，種の概念と関連づけて，2 行（70 字）程度で述べよ。

C　種**A**～種**D**の垂直分布は，おおむね標高 500 ～ 1500m の範囲にあり，それは，ほぼ 1 つの植物群系の分布域に相当している。その群系の樹林帯名を答えよ。また，その樹林帯に生育する代表的樹種として適切なものを以下の(1)～(7)からすべて選べ。

(1)　アラカシ　　(2)　ガジュマル　　(3)　ミズナラ　　(4)　シイ
(5)　ブナ　　(6)　タブノキ　　(7)　トドマツ

D　種 A と種 B は，最初はそれぞれ孤立していたが，その後，分布域を接するようになったと考えられる。現在の分布状態から，これらの種の種分化および分布域の形成過程として最も適切なものを，以下の(1)〜(4)から１つ選べ。

(1)　寒冷期に，高標高地に孤立して種分化し，温暖期に，低標高地へ向かって分布を広げて現在のようになった。

(2)　寒冷期に，低標高地に孤立して種分化し，温暖期に，高標高地へ向かって分布を広げて現在のようになった。

(3)　温暖期に，高標高地に孤立して種分化し，寒冷期に，低標高地へ向かって分布を広げて現在のようになった。

(4)　温暖期に，低標高地に孤立して種分化し，寒冷期に，高標高地へ向かって分布を広げて現在のようになった。

Ⅱ　文２について，以下の小問に答えよ。

E　空欄**４**～**７**に適切な語を入れよ。

F　下線部(イ)について。オオシラビソの生育に適していると考えられる気温の範囲であるにもかかわらず，この種が分布しない理由を，以下の(1)～(5)のように考察してみた。この中から，理由として適切でないものを２つ選べ。

(1)　オオシラビソは，暖温帯の気候下では生育できない。
(2)　オオシラビソは，冬季の積雪量が非常に多い山では生育できない。
(3)　オオシラビソは，強風の吹きやすい山では生育できない。
(4)　オオシラビソは，遷移の途中に多く出現し，極相に達するとほとんど消滅する。
(5)　オオシラビソは，生育に適している気温の範囲全域に，まだ分布を広げられていない。

G　下線部(エ)のような花粉分析は，湿性遷移の過程にある湿地の周辺で掘削を行い，地層中を調査することが一般的であるが，この理由を２行（70字）程度で述べよ。

H　下線部(オ)より推定される，調査地での約3500年前の気候として，最も適切なものを以下の(1)～(6)から１つ選べ。

(1)　平均気温は，現在より約2℃高温であった。
(2)　平均気温は，現在より約2℃低温であった。
(3)　平均気温は，現在より約4℃高温であった。
(4)　平均気温は，現在より約4℃低温であった。
(5)　平均気温は，現在より約6℃高温であった。
(6)　平均気温は，現在より約6℃低温であった。

I　文２で述べられた一連の研究の結果，下線部(ウ)のようなオオシラビソの分布の特徴には，過去の分布変遷が関わっていると考えられるようになった。下線部(オ)を考慮して，下線部(ウ)のような分布の特徴が生じた理由を２行（70字）程度で述べよ。

# 第10講　頻度に依存した淘汰

次の文１と文２を読み，ⅠとⅡの各問に答えよ。

〔文１〕

生物が様々な異なる環境へ適応して，共通の祖先から数多くの種に多様化することを［ 1 ］という。相互作用している複数種の生物が，互いに影響を与えながら進化することを［ 2 ］という。動物における種間の相互作用としては，行動を介した交渉による直接的相互作用や，同じ餌を利用することで一方の種が他方の種に間接的な影響を与えるものなどがある。生物群集において，ある種が占める生息場所，出現時期や活動時間，餌の種類などの生息条件を［ 3 ］という。食性が共通するなど，［ 3 ］が近い種間では激しい種間競争が生じ，一方の種がもう一方の種を駆逐する［ 4 ］が起こる事がある。しかし，ある食性の動物にとって，同じ食性の他種の存在が有利にはたらく間接的な相互作用も存在することが明らかになってきた。

〔文２〕

アフリカのタンガニイカ湖に生息する魚類には，他魚種の鱗（うろこ）を主食とする種がいる。鱗を食べる魚は，鱗を食べられる魚の後方から忍び寄り，体側から襲いかかって鱗を一度に数枚はぎ取る。魚種 A と B はどちらも魚種 C を襲って鱗を食べるが，2 種の襲い方は大きく異なる。どちらの種もゆっくり泳ぎながら探索し，種 C を見つけると，種 A は底沿いに忍び寄り，遠くから突進する。種 B はあたかも無害な藻食魚のような泳ぎ方で種 C に近寄り，至近距離からいきなり襲いかかる。種 C は，種 A または B の接近を常に警戒しているため，種 A や B が単独で襲いかかった場合の鱗はぎ取りの成功率は 20％程度である。(ア)<u>ところが種 A および B の採餌成功率は，状況に応じて異なった（**図１－１**）。</u>

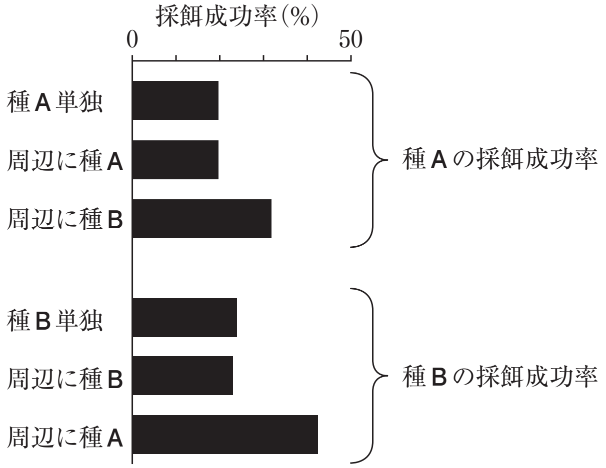



**図1－1**　鱗を食べる種AとBが種Cから鱗をはぎ取ることに成功した割合
単独で襲いかかった場合，種Cの周辺に同種もしくは別種がいた場合で比較した。

種AやBの口を観察すると，魚の口は右や左に大きく曲がっていた（**図1－2**）。口が右に曲がった個体の胃袋からは，種Cの左の体側からはぎ取った鱗のみが出現し，口が左に曲がった個体からは右の体側からはぎ取った鱗のみが出現した。つまり，個体ごとに口の曲がりに応じて食べやすい体側からのみ鱗をはぎ取っているのである。

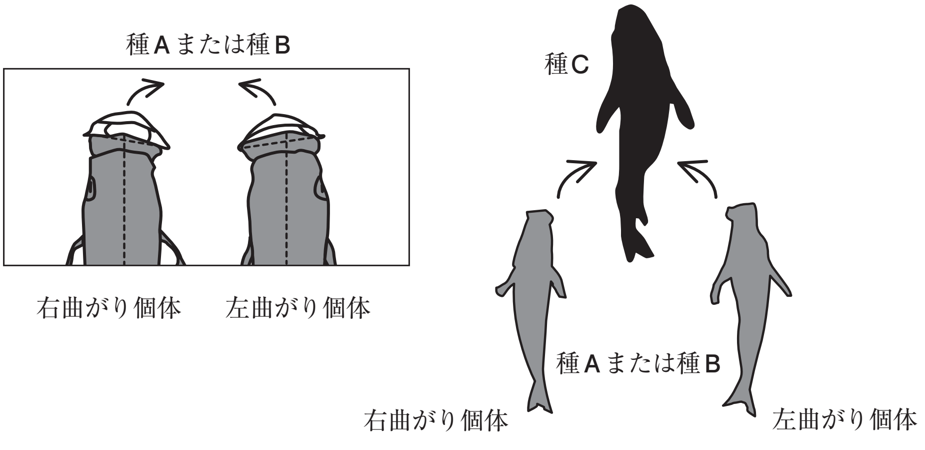



**図1－2**　口が右や左に曲がった個体とそれぞれの鱗はぎ取り方法を上から見た図

種AおよびBにおいて，口が左に曲がった親どうしの組み合わせから生まれた子は，すべて口が左に曲がった個体となった。口が右に曲がった個体どうし，あるいは右に曲がった個体と左に曲がった個体を親とする子の口の曲がる向きを調べたところ，(イ)単一の遺伝子座にある対立遺伝子に支配される左曲がり劣性のメンデル遺伝をすると考えられた。

個体群中で口が左に曲がった個体と右に曲がった個体がどのような比率で存在するのかを調べるため，種 A と C のみが生息する場所で種 A を十数年間調べたところ，口が左に曲がる個体の割合は 40 から 60%の間を 4 ～ 5 年の周期で変動し，平均はほぼ 50%となった。

鱗をはぎ取られた種 C の体にはしばらくの間痕跡が残るため，どちら側の体側から鱗をはぎ取られたかを調べることができる。(ウ)種 A と C のみが生息する場所で，種 C に残る痕跡を，右と左それぞれの体側で複数年にわたって数えたところ，年によって結果が異なった(図１－３)。

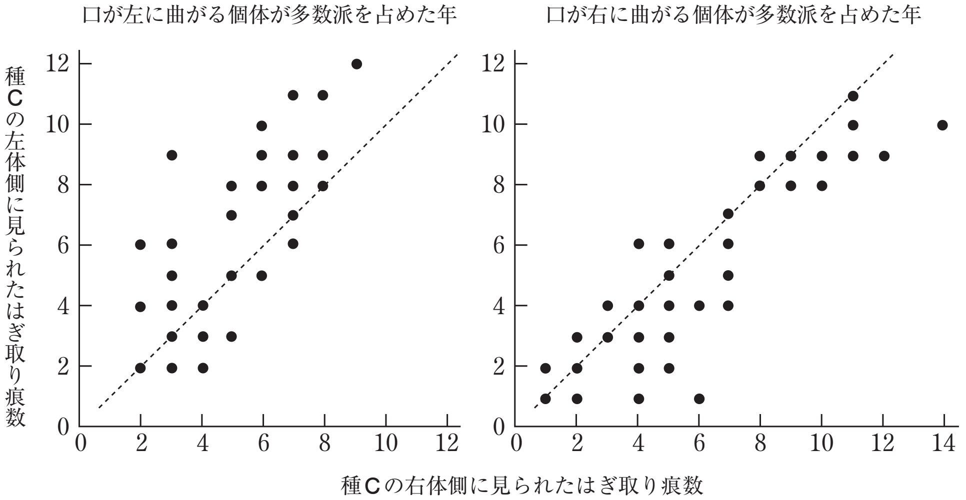



**図１－３　種Cの体側に見られたはぎ取り痕数**

口が左に曲がった個体が種Aの多数派を占めた年(左パネル)と右に曲がった個体が種Aの多数派を占めた年(右パネル)を比較した。破線は右体側と左体側に見られるはぎ取り痕数が同じであった場合を示す。1つの点は種Cの1個体における値を示す。

〔問〕

Ⅰ　文1について，以下の小問に答えよ。

A　空欄**1**～**4**にあてはまるもっとも適切な語句を，以下の選択肢①～⑬の中から選べ。解答例：**1**－①，**2**－②

| | | | |
|---|---|---|---|
| ①　最適条件 | ②　共存 | ③　弱肉強食 | ④　適者生存 |
| ⑤　生態的地位 | ⑥　食物連鎖 | ⑦　競争的排除 | ⑧　間接効果 |
| ⑨　生物多様性 | ⑩　共進化 | ⑪　適応放散 | ⑫　収束進化 |
| ⑬　食物網 | | | |

B　2種間の相互作用には，以下の表に記す組み合わせが存在する。2種間の関係を表す語句(1)～(6)それぞれに対応する組み合わせとしてふさわしいものを，表の①～⑤の中から選べ。解答例：(1)－①，(2)－②

| | | | |
|---|---|---|---|
| (1)　片利共生 | (2)　寄生 | (3)　競争 | (4)　中立 |
| (5)　相利共生 | (6)　捕食 | | |

| | | 生物2にとって | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 利　益 | 不利益 | どちらでもない |
| 生物1にとって | 利　益 | ① | ② | ③ |
| | 不利益 | ② | ④ | 偏　害<br>(片　害) |
| | どちらでもない | ③ | 偏　害<br>(片　害) | ⑤ |

Ⅱ　文２について，以下の小問に答えよ。

C　下線部(ア)について。採餌成功率が状況に応じてどのように異なったか，**図１−１**から読み取れる傾向を２行（70 字）程度で説明せよ。

D　**図１−１**のような結果がもたらされた理由を，鱗をはぎ取られる種 **C** の行動面から２行（70 字）程度で説明せよ。

E　下線部(イ)がなり立つとして，口が右に曲がった個体どうしが親となる場合，生まれる子の理論上の比率として考えられるものを以下の(1)〜(7)からすべて選べ。

(1)　右曲がり：左曲がり ＝1：0
(2)　右曲がり：左曲がり ＝0：1
(3)　右曲がり：左曲がり ＝2：1
(4)　右曲がり：左曲がり ＝1：2
(5)　右曲がり：左曲がり ＝3：1
(6)　右曲がり：左曲がり ＝1：3
(7)　右曲がり：左曲がり ＝1：1

F　下線部(ウ)について。**図１−３**に見られたはぎ取り痕数の左右の偏りがもたらされた理由として正しいものを，以下の(1)〜(3)から１つ，(4)〜(6)から１つ選べ。

(1)　種 **C** はどちらの体側も守るべく防御を左右均等に配分した。
(2)　種 **C** は種 **A** の多数派からの襲撃に対する防御に専念した。
(3)　種 **C** は種 **A** の少数派からの襲撃に対する防御に専念した。
(4)　種 **A** の多数派と少数派は同程度の採餌成功率であった。
(5)　種 **A** の多数派は高い採餌成功率であった。
(6)　種 **A** の少数派は高い採餌成功率であった。

G　下線部(ウ)について。鱗を食べる魚が配偶相手を選択する際に，口が右に曲がった個体の数が左に曲がった個体の数を大きく上回っている場合は，口が左に曲がった個体はどちらのタイプの個体を選択するのが子の生存に有利となるか答えよ。またその理由を２行（70 字）程度で答えよ。

H　種Aと C のみが生息する場所では，種Aにおける口が左に曲がった個体の割合は数年周期の振動を示した。種AとBとCが生息する場所で，種AとBにおける口が左に曲がった個体の割合を十数年間調べたところ，どちらの種においても50%を中心とする数年周期の振動を示し，さらにそれらの振動はほぼ同調した。模式的に示すと**図1－4**のようになる。この現象に関する考察として不適切なものを，以下の(1)～(4)から1つ選べ。

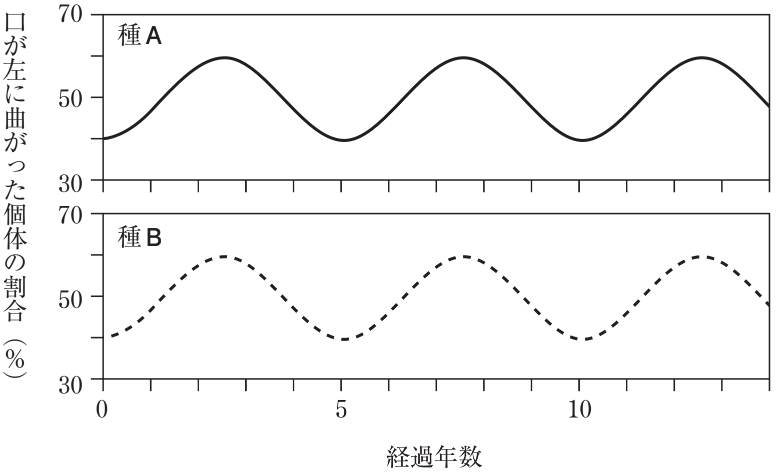



**図1－4**　口が左に曲がった個体が種Aおよび種Bに占める割合の年変動

(1)　採餌成功率が高い個体の繁殖成功率は高まるが，その子が鱗を食べるようになるまでの時間が，振動周期に影響を及ぼす。

(2)　襲い方が異なる種AとBの共存や，口の曲がりの左右性という種内二型は，種Cの警戒を介した頻度に依存した自然選択によって維持されている。

(3)　種Aの個体数が種Bよりもはるかに多い場合，種Aにおける口が左に曲がった個体の割合に応じて，種Cは防御のやり方を変えている。

(4)　種Aの個体数が種Bよりもはるかに多い場合，種Aにおける口が左に曲がった個体の割合は，種Bの採餌成功率を左右しない。

# テキスト解答

※本書に収録された解答・解説はスタディサプリが独自に作成したものです。

# 第１講

Ⅰ　A　(3)

説明…抗体可変部の多様性は，DNA 段階での遺伝子の再編成によって生じる。

B　G1－a 領域　G2－c 領域　S－b 領域　M－c 領域

Ⅱ　C　(7)

D　正常細胞が X 線照射で DNA に損傷を受けると，G2 期に留まることで DNA の修復を行うが，変異細胞 B では損傷を受けても細胞周期が G2 期で留まらず，修復できずに死滅してしまうため。

E　変異細胞 B に X 線照射後に紡錘体形成阻害剤を与え，G2 期で停止させる。そこから DNA の修復に十分な時間をおいた後に紡錘体形成阻害剤を除去した場合，X 線照射 3 日後の生存細胞数が増加することを確認する。

Ⅲ　F　e

G　b

H　(4)

I　ホルモン Z の刺激によってタンパク質 Y の発現量が増加し，タンパク質 Y はタンパク質 X の b 領域に結合する。これより c 領域による酵素活性の抑制が解除されるため，タンパク質 X の酵素活性が上昇する。

J　[ 3 ]　(3)　[ 4 ]　(5)

# 第２講

Ⅰ　A　[1]　単孔　[2]　有袋

　　B　10mL

Ⅱ　C　ES細胞由来の細胞は胎仔にのみ分布し，四倍体8細胞期胚由来の細胞は胎盤にのみ分布する。

　　D　ゲノム刷り込みは始原生殖細胞の段階で起こるため，精原細胞の染色体にはオス型の印のみがついている。そのため，精原細胞の核を用いたクローン個体では，母由来のメス型の印の染色体からのみ発現する遺伝子が発現しない。

　　E　[3]　精子(生殖細胞，精原細胞)　[4]　80

　　F　母親の体細胞においてA遺伝子が働き，胚の発生に影響を与えている可能性。

　　G　表現型…正常個体と胎生致死個体が1：1の割合で生じる。

　　　理由…A遺伝子は母親由来の染色体上からのみ発現するようにゲノム刷り込みがなされている。そのため，母親からA遺伝子を受け継がないと生存できない。

　　H　(2)，(7)

# 第３講

Ⅰ　A　ア － **2** － 刺胞（動物）　イ － **7** － 棘皮（動物）　エ － **6** － 軟体（動物）

B　[ 8 ]　旧口　[ 9 ]　新口

特徴…原口付近が肛門になり，反対側に口が新たに形成される。

C　ペプチドホルモンは細胞膜上の受容体に結合し，細胞内で別の物質の合成・活性化を促し情報を伝達するが，ステロイドホルモンは細胞膜を通過して細胞内の受容体に結合し，複合体となり情報を伝達する。

Ⅱ　D　伴性遺伝，ヒトの血友病（ヒトの赤緑色覚異常）

E　(a)　遺伝子…$R$，$y$　表現型…赤い体色の雌，赤くない体色の雄

(b)　[ 10 ]，[ 11 ]　$X^rX^R$，$X^rY^r$（順不同）　[ 12 ]　$X^{rl}X^{rl}$

[ 13 ]，[ 14 ]　$X^{rl}X^{Rl}$，$X^{rl}Y^{rL}$（順不同）

F　(a)　遺伝子型…$X^l$，$Y^L$

表現型…雌…白色素胞をもたない，雄…白色素胞をもつ

(b)　97.9％

Ⅲ　[ 15 ]　50　[ 16 ]　75　[ 17 ]　50　[ 18 ]　100

# 第４講

Ⅰ　A　ある遺伝子の転写が開始される際には，開裂した２本鎖 DNA のうち，片方の DNA 鎖を鋳型として，その遺伝子のプロモーターに基本転写因子と RNA ポリメラーゼが結合し，RNA ポリメラーゼが RNA 鎖を 5′→ 3′の方向へと伸長させる。

B　16 種類

C　エキソン 9d の 81 ～ 83 塩基目

D　a－③，b－⑤，c－⑥，d－⑧，e－⑩

Ⅱ　E　9

F　チミン

G　ATCGATCGAT など

H　(あ)　g－6，h－4

(い)　8：6：7

(う)　(1)，(5)

# 第５講

Ⅰ　A　マラリア原虫－ハマダラカ：片利共生　　マラリア原虫－ヒト：寄生

B　マラリアに感染したＸ系統とＹ系統のハマダラカに，マラリアに未感染のネズミから吸血させ，ネズミがマラリア症を発症するかどうかを確認する。

Ⅱ　C　[1] 独立　[2] 対合　[3] 組換え

[4]・[5] 劣性・不完全優性　[6] 優性

D　戻し交配で得られた世代でオーシスト数に差がないことから，色素沈着の有無はハマダラカの体内におけるマラリア原虫の増殖に影響を与えない。

E　複数の原因遺伝子の遺伝子座が同一染色体上の非常に近い位置に存在し，完全連鎖している。

Ⅲ　F　目的遺伝子がDNAマーカーのどれかの近くに位置している可能性を高めるため。

（別解）目的遺伝子と各DNAマーカーの相対的距離に差をつけるため。

G　3

理由…戻し交配によって得られた世代における色素沈着のある個体は，Ｘ系統のマーカー３を必ず受け継いでおり，色素沈着のない個体はＹ系統のマーカー３のみを受け継いでいないから。

H　(2)

Ⅳ　I　[8] ヘモグロビン　[9] 酸素

J　Ｘ系統のマラリア原虫を媒介できなくなる形質は優性なので，マラリア症の発生地域でＸ系統のハマダラカを多量に放つことで現地のＹ系統と交配した次世代でも色素沈着の形質は広まりやすく，マラリア原虫の拡散を抑制できる。

K　$\frac{1}{6}$

L　$\frac{1}{5}$

# 第６講

Ⅰ　A　(6)

　　B　(6)

Ⅱ　C　光受容体…クリプトクロム

植物ホルモン…オーキシン（IAA，インドール酢酸），ジベレリン，ブラシノステロイド　から２つ

D　(1)

E　巻きひげ − ブドウ，エンドウ，キュウリ などから１つ

茎全体 − インゲン，アサガオ などから１つ

F　双子葉植物である植物Ｚの巻きひげが茎の特殊化したものであった場合，巻きひげの断面図において，木部や師部が環状に配置しているはずである。実際の断面図では，環状の配置ではなく葉で見られる横並びの維管束が丸まったように見えるため，葉が特殊化したものであると考えられる。

G　(5)

H　つる植物の茎は常に茎の特定の面を内側に向けて回旋しており，接触刺激を受けた場合は必ずその内側方向に屈曲が起こると考えられる。

I　・f と g でつる性の獲得が起き，j でつる性の喪失が起きた。

・f と h と k でつる性の獲得が起きた。

# 第７講

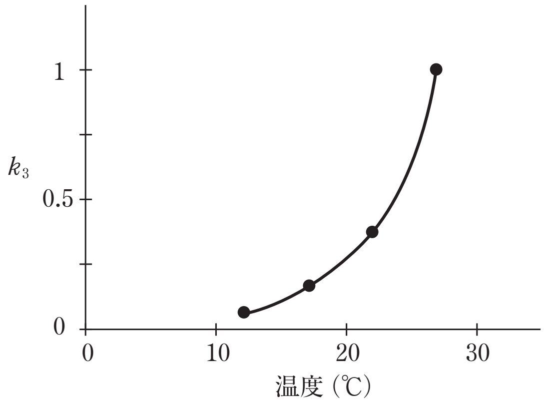
Ⅰ　A　(1)－◯，(2)－×，(3)－◯，(4)－×，(5)－？

B　あらかじめ低温・短日においた処理株と適温・短日においた未処理株を用意し，両者を接ぎ木して適温・長日で栽培する。葉を残した処理株の台木に未処理株の芽を接ぎ木して花芽が形成された場合，花成ホルモンの受容能の獲得に春化は不要であると考えられる。また, 未処理株の台木に処理株の芽を接ぎ木して花芽が形成された場合, 合成能の獲得に春化は不要であると考えられる。

C　(5)

Ⅱ　D　(4)

E




F　(3)

G　高温環境では温度が限定要因になりにくく，光の強さによって光合成が律速される。このような環境で胚軸などの伸長が促進される性質は光を巡る競争で有利となるため，そのような遺伝形質は集団に広まっていく。

# 第８講

Ⅰ　A　[1]　効果　[2]　シナプス　[3]　半規管

B　[4]　減少　[5]　増加　[6]　増加　[7]　減少

C　(a)　１つの眼球において，外直筋の収縮と内直筋の弛緩，および外直筋の弛緩と内直筋の収縮を同調的に行うことで円滑な眼球の回転を可能にしている。

(b)　左右の眼球において，一方の外直筋と他方の内直筋を同調して収縮させることで両目を同じ方向に回転させることができる。

D　頭を左側に回転した場合は，左側の感覚器の活動は増加し右側の感覚器の活動は減少する。右側の感覚器の活動が消失したとしても，左側の感覚器からの興奮が神経節Ｂで分岐し両眼に連絡するため，両眼とも右に回転する。

Ⅱ　E　体性感覚野：(3)　　運動野：(2)

F　(2)，(4)

G　(2)，(5)

H　A

I　視野の中心付近は，視野の面積に対して担当する脳の領域は広くニューロンの数は多い。そのため，ニューロン１つあたりが担当する視野の面積は狭くなる。

# 第９講

Ⅰ　A　［1］氷期　［2］すみわけ　［3］競争

B　種は，他の集団から生殖的に隔離された集団であり，交尾器の形態の明確な差は，交配の不成立に直接つながるため。

C　夏緑樹林，(3)，(5)

D　(2)

Ⅱ　E　［4］陽　［5］陰　［6］頂上　［7］寒冷

F　(1)，(4)

G　湿性遷移の過程にある湿地では，花粉が土砂と一緒に堆積していく。そのため，年代を反映したまま層状に堆積していき，さらに酸素が少ないため分解が進まず地層中に残りやすい。

H　(1)

I　標高がａより高い山はオオシラビソの過去の分布下限より標高が高く，気温の低下に伴って分布域がそのまま下降した。一方，標高がａより低い山には元々オオシラビソが見られず，気温が低下しても頂上付近に分布できなかった。

# 第10講

Ⅰ　A　1－⑪，2－⑩，3－⑤，4－⑦

B　(1)－③，(2)－②，(3)－④，(4)－⑤，(5)－①，(6)－②

Ⅱ　C　種 A・B ともに，周囲に同種の他個体がいる場合の採餌成功率は単独の場合と同程度だったが，周囲に別種の他個体がいる場合は採餌成功率が上昇した。

D　種 C は種 A・B の接近を警戒するが，種 A・B では襲い方が異なる。一方の種のみが周囲にいる場合は種 C は特定の警戒で対応できるが，両方の種が存在する場合は警戒が分散してしまうため，種 A・B ともに採餌成功率が上昇する。

E　(1)，(5)

F　(2)，(6)

G　口が左に曲がった個体

理由…右曲がりの個体が多数派である場合，種 C は体の左側への警戒を強めるため，左曲がりの個体は種 C の警戒のうすい右側から採餌でき，その結果，生存上有利となるから。

H　(4)